This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

Library
of the
University of Wisconsin

Gaswerk in Mariendorf bei Berlin.

Zu Donath und Ulrich: Die fossilen Kohlen (Steinkohle und Braunkohle) und ihre Verwertung.

Tafel 1.

DIE ECH[illegible] ZWANZ[illegible] JAHRHUN[illegible]

UNTER MITW[illegible]
TECHNISCHEN [illegible]
GEH. REG.-RA[illegible]

[illegible]

DIE VERARBEITUNG DER R[illegible]

BRAUNSCHWEIG 1912. VERLAG VON GEORGE WESTERMANN

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

UNTER MITWIRKUNG HERVORRAGENDER VERTRETER DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN HERAUSGEGEBEN VON

GEH. REG.-RAT DR. A. MIETHE
PROFESSOR AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BERLIN

—o—

ZWEITER BAND:

DIE VERARBEITUNG DER ROHSTOFFE

—o—

BRAUNSCHWEIG 1912. VERLAG VON GEORGE WESTERMANN

Alle Rechte
insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen vorbehalten.

Copyright 1912
by George Westermann,
Braunschweig.

Druck von George Westermann in Braunschweig.

171071

SB
T22
2

INHALTSVERZEICHNIS

Die fossilen Kohlen (Steinkohle und Braunkohle) und ihre Verwertung. Von Professoren Hofrat Ed. Donath und G. Ulrich (Brünn) Seite 3—78

Seite

Die Bedeutung der Steinkohle für die Kultur der Jetztzeit 3
Erschöpfungszeiten wichtiger Steinkohlenfelder in Europa 5
Eigenschaften und Unterscheidung von Steinkohle und Braunkohle 6
Die Verwendung der Steinkohle 9
Unmittelbare Verwendung als Brennstoff 10
Luft-Kohlenoxyd-Generatorgas 11
Entwicklung des Gasgeneratorbaues 12
Treppenrostgeneratorgas . . . 12
Die Verkokung der Steinkohle 14
Zweck der Kokerei 14
Verkokungsprobe 14
Flammkohlen 14
Gaskohlen 14
Fettkohlen 14
Backkohlen 14
Schmiedekohlen 15
Kannelkohle 15
Bogheadkohle 15
Magerkohle 15
Sandkohle 15
Anthrazitkohle 15
Kokskohle 15
Koksöfen 15
Steinkohlenmeiler 16
Verkokung in geschlossenen Öfen 16
Destillationskokerei 16
Nebenproduktengewinnung . 16
Abhitze- und Regenerativöfen 17
Unterfeuerungsofen mit Nebenproduktengewinnung . . 17
Stampfverfahren 20

Seite

Abhitze-Koksofen 20
Regenerativ-Koksofen 20
Gewinnung der Nebenprodukte 23
Dickteerscheider 23
Luft- und Wasserkühler . . . 23
Ammoniakwäscher 23
Direkte Sulfatgewinnung . . . 25
Die Darstellung von Leuchtgas 27
Leuchtkraft des Gases 27
Erzeugung des Rohgases . . 29
Rekuperativfeuerung 29
Ofen mit schrägliegenden Retorten 30
Vertikalofen 31
Reichgas 33
Kammeröfen 33
Horizontal-Kammerofen . . . 34
Kammerofen mit schräger Sohle 34
Großraumofen 36
Reinigung des Rohgases . . . 36
Luftkühler 36
Wasserkühler 36
Teerscheider 36
Wäscher 36
Skrubber 37
Exhaustor 37
Trockene Reinigung 37
Entfernung des Schwefelkohlenstoffes 38
Naphthalin- und Zyanwäscher 38
Die Ableitung zu den Konsumstellen 38
Gasbrenner 38
Schnittbrenner 39
Einloch-, Zweiloch- oder Fischschwanzbrenner 39
Argandbrenner 39
Regenerativbrenner 39
Invertbrenner 39
Gasglühlichtbrenner 39

Seite

Herstellung der Glühkörper . 40
Lucaslampe 41
Preßgas 41
Grätzinbrenner 41
Ökonomie der Lichterzeugung 41
Wassergaserzeugung 41
Heißblasen 42
Kaltblasen oder Gasmachen . 42
Wassergas-Erzeugungsapparate 43
Mischgas 46
Sauggeneratoranlage 46
Mondgas 47
Halbwassergas 47
Kombination von Leuchtgas und Wassergas 51
Karburierung auf heißem Wege 51
Karburierung auf kaltem Wege 51
Autokarburations-Verfahren . 52
Steinkohlenteer 53
Chemische Verbindungen im Steinkohlenteer 54
Verwertung des Steinkohlenteers 57
Naphthalinentfernung aus Gasen 57
Steinkohlenteer zum Imprägnieren von Holz, Steinen und Ziegeln 57
Teer als Lösungsmittel in der Kautschukwaren-Industrie . 58
Darstellung von Koks aus Teer 58
Vergasung des Steinkohlenteers 59
Konservierung der Pappdächer 59
Destillation des Steinkohlenteers 59
Leichtöl, Mittelöl, Anthrazenöl 62
Hart- oder Retortenpech . . . 62
Aufarbeitungsmethoden der Teerdestillate 62
Fraktionierte Destillation . . . 63

Seite

Benzolwäscher 63
Gewinnung von Anthrazen . 67
Brikettfabrikation 67
Braunkohlenteer 68
Feuerkohlen 69
Schwelkohleh 69
Braunkohlenbriketts 69
Trocknen des Braunkohlenkleins 69
Bitumenreiche Braunkohlen . 70
Abbau der Kohlen 70
Zweck des Schwelprozesses . 71
Schwelwasser 74
Trennung der Nebenprodukte vom Paraffin 75
Destillation des Teers 75
Sicherungsventile 75
Paraffin 76
Gewinnung des Paraffins durch Kristallisation aus den Ölen 76
Verwendung des Paraffins . 77
Produktion der Braunkohlenöle 77
Verwendung des Paraffinöls zur direkten Feuerung in der Keramik 78

Die Verarbeitung des schmiedbaren Eisens im Hüttenbetriebe.

Von Professor Dr.-Ing. G. Stauber (Charlottenburg) . . . . . Seite 79—176

Seite

Allgemeine Grundsätze bei der hüttenmännischen Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens 80
Stromerzeugung durch Gasmaschinenantriebe 81
Gebläseanlagen 81
Hüttenabgase zu Feuerungszwecken 82
Weiterverarbeiten des Roheisens aus den Hochöfen 82
Transportaufgaben in den Stahlwerken . . . 83
Transportaufgaben im Thomaswerk 85
Konverter im Stahlwerk . . 85
Gießgruben 87
Ersatz des Gießwagens durch den Kran 88
Chargieren der Birnen . . . 89
Pfannenkran 90
Blockabstreifer 91
Transportaufgaben im Martinwerk 92
Kran mit schwenkbarem Ausleger 94
Hängebahn 95
Einrichtungen der Hammerwerke 96
Arbeitsprogramm eines Großhammer- und Preßwerkes 96
Schweißofen 97
Halbgasfeuerung 98
Glühöfen 99
Rahmenhammer 100
Schnellhammer 103
Lufthammer 104
Riesenhammer 105
Gesamtaufbau einer Schmiedepresse 107
Steuerung und Erzeugung des Preßwassers 107
Preßwassererzeugung 109
Preßanlage mit Druckluftakkumulator 110
Preßpumpe 112
Hubpumpe 112
Schmiedepresse mit Dampfdrucküberseter 113
Transmissionsschmiedepresse 114
Einrichtungen der Walzwerke 115
Gesamtes Arbeitsprogramm 115
Verteilung der Walzenstraßen 117
Erwärmungsvorrichtungen . 117
Ausgleichgruben 118
Tieföfen 118
Transportaufgaben 118
Tiefofenkrane 119
Abheben und Schließen der Tiefofendeckel 119
Wandern des Einsatzes . . . 121
Stoßofen mit Halbgasfeuerung 121
Blockdrücker 122
Blocktransportkatze 124
Blockeinsetzkran 125
Blockstraßen 125
Blockeinsetzwagen 128
Anstellvorrichtung 129
Blockstraßenanordnung . . . 130
Blockduos 131
Blocktrios 132
Seitliches Verschieben kurzer Blöcke 132
Hebetische 134
Antrieb der Walzen 135
Klauenkuppelung 136
Doppel-Duogerüst 137
Handhabung des Walzgutes 139
Transportabler Rollgang . . 140
Dachwippe 140
Wipptisch 140
Handbedienung und lose Rollen 143
Antrieb der Triostraßen . . . 143
Unterteilen der Walzlängen 144
Blockschere 144
Pendelsäge 146
Schlittensäge 146
Adjustage und Verladung . 146
Abkühlen der Fertigprodukte 147
Rollenrichtmaschinen 148
Transportvorrichtungen . . . 148
Herstellung von Platten und Blechen 148
Erzeugung der Panzerplatten 149
Zwischenprodukte 150
Platine 150
Universalwalzwerk 151
Universal-Blockstraße 152
Lagerung der Mittelwalze . 153
Schleppwalze 154
Einteilung der Produktion . 155
Konstruktion von Feinblechstraßen 155
Blechdoppler mit Hobelschere und Faltapparat 156
Fertigstellung der Bleche . . 157
Transmissionsblechschere . . 157
Kontinuierliche Walzwerke . 158
Herstellung von Trägern . . 158

Seite

Kaliberwalzen für Träger . . 159
Greywalzwerk 160
Erzeugung von Radreifen und Scheibenrädern 161
Röhrenfabrikation 163
Fabrikation glattwandiger schmiedeeiserner Rohre . 163
Rohre für Gas- und Wasserleitungen 163
Ziehbank 164
Ziehverfahren mit tangentialem Schweißdruck 164
Stumpfe Schweißung in der Ziehdüse 166
Streckung des ganzen Rohres 167
Patentgeschweißte Rohre . . 167
Wassergasgeschweißte Rohre 168
Autogenschweißung 168
Dornen eines vollen Blockes 169
Ausglühen 170
Kaltzüge auf der Ziehbank 170
Schrägwalzverfahren 171
Schrägwalzwerk 171
Drahtzieherei 173
Ziehbetrieb 174
Grobzug 174
Feinzug 175

Die Verarbeitung der Faserstoffe in der Textil- und Papierindustrie. Von Direktor Professor Otto Johannsen (Reutlingen) Seite 177—254

Seite

Die Textilindustrie . . . 177
Handspindel 177
Tretspinnrad 179
Jennymaschine 181
Die Baumwollspinnerei 183
Baumwollstreckwerkspinnerei 183
Das Mischen 184
Auflösen, Lockern und Reinigen 185
Der Öffner 185
Die Schlagmaschine 186
Kratzen, Krempeln oder Kardieren 186
Walzenkrempel 189
Das Kämmen 189
Deckelkrempel mit wandernden Deckeln 190
Strecken und Dublieren . . 191
Vorspinnen 193
Festigung durch Drehung . . 193
Würgeln, Frottieren oder Nitscheln 193
Spulbänke 193
Flügelspinnerei 196
Laternenmaschine 196
Ringspinnmaschine 196
Spinnen auf Selfaktoren . . 199
Streckwerkselfaktor 199
Ausfahrt 199
Abschlagen oder Rückwinden 199
Aufwindung oder Einfahrt . 199
Windeschiene 200
Nachdraht 200
Baumwollstreichgarnspinnerei 201
Vorspinnapparat (Florteiler) 201
Fertigstellung der Garne . . 201
Die Bastfaserspinnerei 201
Anlegen und Strecken 202
Nadelstäbe zur Bestimmung der Führungsgeschwindigkeit 202
Dublierung 203
Vorspinnen auf der Passage-Spulbank 204
Feinspinnen der Flachs- und Hanfgarne 204
Naßspinnen 205
Werg- oder Abfallspinnerei 205
Wergkrempel 205
Jutespinnerei 206
Ramiepflanze, vortreffliches Spinnmaterial 206
Die Wollspinnerei 206
Wollkammgarnspinnerei . . 207
Sortieren 207
Fabrikwäsche 207
Krempeln 208
Vorstrecken 208
Wollkämmaschine 209
Nachstrecken und Dublieren 210
Plätten 210
Kammgarnspinnerei 211
Vorspinnen 211
Frotteur 211
Fertig- oder Feinspinnen . . 211
Spinnen bunter Garne . . . 212
Wollstreichgarnspinnerei . . 212
Auflockern 212
Krempeln 212
Reißkrempel 212
Dreikrempelsatz 213
Spinnkrempel 214
Riemchenflorteiler 214
Feinspinnen der Streichgarne 215
Vergleichmäßigung der Gespinste 215
Vigogne 216
Die Verarbeitung der Seide 216
Die Weberei 217
Weben von Hand 217
Teppichweberei 217
Handwebstuhl 218
Spulen 219
Zetteln oder Scheren 219
Schlichten, Leimen, Trocknen 219
Aufbäumen 220
Der mechanische Webstuhl . 220
Webegeschirr 220
Sicherheitsvorrichtungen . . 222
Baumwollweberei 222
Automatischer Webstuhl . . 222
Buckskinstuhl 222
Schaftmaschine 222
Jacquardmaschine 223
Wirk- und Strickwarenherstellung 224
Veredelung der Gewebe . . 224
Merzerisation 225
Färben von Baumwollwaren 225
Erzeugung gebleichter Garne 226
Buntspinnerei und Melangespinnerei 226
Bedrucken von Geweben . . 226
Appretur von Baumwollgeweben 226
Spannrahmen 226
Bleichmittel 227
Tuchfabrikation 227
Walken 227
Die Papierfabrikation . 228
Papiererzeugung der europäischen Staaten 229
Material für die Papierbereitung 230

Seite

Sortierung 230
Haderndrescher 231
Hadernschneider 231
Mechanische Entstäubung . . 231
Nasse Reinigung 232
Lumpen- oder Hadernkocher 232
Waschmaschine 233
Holländer (Mahlmaschine) . 233
Stampf- oder Hammerholländer 234
Stoffmühlen 235
Bleichen des Halbzeuges . . 238
Mischen im Mischholländer 238
Satinieren 239
Oberflächenleimung 239
Färben durchgefärbter Papiere 239
Entziehen des Wassers aus dem Papierbrei 239
Handpapierbereitung 240
Langsiebmaschine 241
Drehknotenfänger 243
Entwässerung durch die Siebpartie 244
Gautschpresse 245
Entwässern durch die Trokkenpartie 246
Feuchtglättwerk 247
Nacharbeiten 247
Zerschneiden und Aufwickeln 247
Zylinderpapiermaschine . . . 247
Streichen der Papiere 250
Verwertung des Papiers für Textilzwecke 250
Kunstdruckpapiere 252
Ein- und Ausfuhr Deutschlands 252
Papierprüfung 253

Die chemische Großindustrie. Von Geh. Regierungsrat Professor Dr. Otto N. Witt (Charlottenburg) . . . . . Seite 255—341

Seite

Entstehung und Existenzberechtigung 255
Sodaprozeß 260
Die Schwefelsäure-Industrie 262
Fabrikation der Schwefelsäure 262
Bleikammerprozeß 263
Katalysatoren 263
Theorie des Schwefelsäurebildungs-Prozesses 264
Kiesbrenner 266
Glover-Turm 267
Rauchende Schwefelsäure . 270
Kontaktverfahren der Schwefelsäure-Fabrikation 272
Der Leblanc-Prozeß . . 272
Sulfatöfen 273
Rotierende Sulfatöfen 273
Salzsäure 275
Kaustizierung der Rohsodalauge 277
Verpackung und Versand der kaustischen Soda 278
Das Solvay- u. das Engel-Precht-Verfahren 279
Chemische Grundlagen des Ammoniakprozesses 279
Kochsalz und Kalkstein als Rohmaterialien 279
Staßfurter Kaliindustrie . . 282
Die elektrochemische Industrie 282
Elektrolyse in siedendheißer Lösung 283
Anwendung elektrochemischer Arbeit 283
Industrie der Chlorate . . . 283
Griesheimer Verfahren . . . 284
Castner-Verfahren 284
Herstellung hochprozentiger Zyanalkalien 285
Die elektrothermische chemische Industrie . 286
Siliziumkarbid 286
Kalziumzyanamid 286
Die Industrie der Nitrate 287
Stickstoff 287
Verbrennung des Luftstickstoffs zur Gewinnung von Salpetersäure 288
Überführung des Luftstickstoffs in Ammoniak 291
Die Industrie der Silikate 292
Silizium 292
Quarz 293
Kieselsäure u. Polysiliziumsäuren 293
Die chemisch aktiven Silikate 295
Zeolithe 295
Wasserreinigung durch Zeolithe . . . . . .
Zeolithe als Mittel zur Gewinnung wertvoller Substanzen 297
Wasserglas 297
Die reaktionsträgen Silikate 297
Die Gläser 297
Vorkommen des Quarzes . . 298
Quarzglas 298
Schmelzung des Quarzes . . 298
Färben des Glases 299
Gläser aus Natron-Kalk-Trisilikaten 299
Bleigläser 300
Erfindung des Glases 301
Herstellung des Glases . . . 301
Herstellung von Kaligläsern 302
Glasbildung beim Niederschmelzen der Sätze . . . 302
Läuterung 302
Haubenhäfen für die Herstellung der Bleigläser 303
Blasen des Glases 303
Tafelglaserzeugung 304
Preßglasherstellung 304
Blasen auf der nassen Platte 304
Walzen der Gläser 304
Herstellung von Drahtglas . 305
Kühlung des Glases 305
Schleifen und Polieren . . . 306
Gläser für optische Zwecke 306
Die Tonwaren 306
Plastizität der Tone 307
Brennen geformter Tone . . 307
Abhängigkeit des Scherbens von der Natur der Tone . 308
Schwindung 309
Quarzsand als Magerungsmittel 310
Grundlegende Ursachen der Formbarkeit der Tone . . 310
Bildung von Trüben 312
Rotten 312

Seite

Formung von Tonwaren durch Zerschneiden des feuchten Tons 313
Gießen der Tonwaren 313
Brennen der Tonwaren . . . 314
Ringöfen 314
Porzellanfabrikation 314
Porzellanofen 314
Glattbrand 315
Muffelöfen 315
Kapseln für feine Tonwaren 315
Glasur 316
Glasurrisse 316
Erzeugnisse aus geformtem an der Luft getrocknetem, aber nicht gebranntem Ton 317
Brennen gefärbter Tonwaren 317
Porös gebrannte unglasierte Tonwaren 318
Terrakotten 318
Feuerfeste Tonwaren 318
Tonwaren mit porösem Scherben 318
Steingut 319
Zusammenschmelzen (Fritten) 319

Seite

Majolika 319
Delfter Ware 320
Steinzeug 320
Herstellung des Porzellans 321
Unglasiertes Porzellan (Biskuit) 322
Bemalen des Porzellans . . 323
Die chemische Industrie der organischen Verbindungen 324
Die erste Verarbeitung des Teers 325
Teerbestandteile 325
Destillation des Teers . . . 326
Verarbeitung des Leichtöls . 326
Mittelöl 326
Schweröl 326
Anthrazenöl 327
Die Weiterverarbeitung der aus dem Teer isolierten aromatischen Verbindungen 327
Fabrikation der Zwischenprodukte der Farbenindustrie 327
Phenole 328

Seite

Nitrierung der Kohlenwasserstoffe 328
Anilin 330
Anthrachinon 330
Chlorderivate 330
Phthalsäure 331
Die Farbenfabrikation . 331
Azofarbstoffe 332
Fuchsin 333
Fluoreszeïn 334
Eosin 334
Erythrosin 334
Rose bengale 334
Rhodamine 334
Fabrikation der Alizarinfarbstoffe 335
Alizarin 335
Synthese des Indigos 335
Das Indanthren 338
Die Industrie der Riechstoffe, synthetischen Heilmittel und organischen Präparate . . . 339
Synthese von Riechstoffen . 340
Synthese der künstlichen Heilmittel 341

EINSCHALTBILDER

Gaswerk in Mariendorf bei Berlin
(zu Donath und Ulrich, Die fossilen Kohlen [Steinkohle und Braunkohle] und ihre Verwertung) . . . . . Titelbild

Walzwerk in „Rote Erde" bei Aachen
(zu Stauber, Die Verarbeitung des schmiedbaren Eisens im Hüttenbetriebe) . . zw. Seite 128/129

Karden der Jutespinnerei und -weberei in Nowawes
(zu Johannsen, Die Verarbeitung der Faserstoffe in der Textil- und Papierindustrie) zw. Seite 192/193

Seidenstrangfärberei bei Spindler in Köpenick
(zu Johannsen, Die Verarbeitung der Faserstoffe in der Textil- und Papierindustrie) zw. Seite 224/225

Alter und neuer Sulfatofen der Kunheimschen Fabrik
(zu Witt, Die chemische Großindustrie) . . . . . zw. Seite 272/273

Brennöfen der Kgl. Porzellanmanufaktur in Charlottenburg
(zu Witt, Die chemische Großindustrie) . . . . . zw. Seite 320/321

ABSCHNITT II

DIE VERARBEITUNG DER ROHSTOFFE

DIE FOSSILEN KOHLEN (STEINKOHLE UND BRAUNKOHLE) UND IHRE VERWERTUNG

VON ED. DONATH UND G. ULRICH

1. DIE BEDEUTUNG DER STEINKOHLE FÜR DIE KULTUR DER JETZTZEIT

Zukünftige Historiker werden gewiß das abgelaufene Jahrhundert als eines der bedeutendsten und hervorragendsten in der Geschichte der menschlichen Kultur bezeichnen und spätere Generationen auf dasselbe vielleicht mit der gleichen Bewunderung zurückblicken, wie wir heute auf gewisse Kulturperioden des klassischen Altertums.

Denn wenn auch die heutige Kultur auf einer mehrtausendjährigen Vergangenheit aufgebaut ist und selbst die Technik, die häufig als eine Frucht des 20. Jahrhunderts betrachtet wird, schon weit in das Altertum hineinreicht und in gewissen Richtungen dort sogar zur Blüte gekommen ist, so weist doch die derzeitige Kultur gegenüber der des 18. Jahrhunderts einen derartigen Zuwachs auf, wie früher nicht.

Der größte Teil der Erdkugel ist umzogen von einem Netz von Schienen, auf denen unsere Eisenbahnzüge dahinrollen, mitunter hohe Gebirgspässe übersteigend oder durch die Tunnels durchbohrter meilendicker Berge dahinbrausend, oder eiserne Brücken übersetzend, unter deren schwindelnden Bogen die Spitzen der höchsten Schiffsmasten versinken. Ohne Rücksicht auf Sturm und Wetter durchfurchen unsere Schiffe gleich schwimmenden Kolossen die Weltmeere. Binnen kurzer Zeit können wir uns mit unseren Gegenfüßlern telegraphisch verständigen, auf Hunderte von Meilen das gesprochene Wort zum unmittelbaren Ausdruck bringen, ja dasselbe sogar für künftige Zeiten phonographisch festhalten.

Wir bestimmen spektralanalytisch die materielle Natur ferner Fixsterne, wir durchleuchten den menschlichen Körper; die mächtigste Wasserkraft übertragen wir viele Meilen weit und machen sie den verschiedenartigsten Zwecken dienstbar, und schon können wir das Problem der Luftschiffahrt vom Standpunkte der Wissenschaft bestimmt als lösbar betrachten und fast sogar dessen Lösung in nicht allzu ferner Zeit erhoffen.

Hand in Hand mit diesem Aufschwung, gewissermaßen der materiellen Kultur, ging ein in demselben Verhältnis sehr bedeutender Fortschritt der menschlichen Kultur in ethischer Richtung, deren Schilderung dem berufenen Kulturhistoriker überlassen bleibt.

Und wenn wir nach den Ursachen, welche diesen bewunderungswürdigen Kulturfortschritt veranlaßt haben, forschen, so können wir unbestritten als eine der wichtigsten und ersten die Erfindung und Nutzbarmachung der Dampfkraft bezeichnen. Sie hat uns in den Stand gesetzt, uns unabhängig von der Muskelkraft der Menschen und Tiere zu machen, auf einem Punkte Tausende von solchen Kräften zu erzeugen und zu verwenden und sie den verschiedensten Zwecken dienlich zu machen. Diese Ausnutzung der Dampfkraft in diesem Maße war jedoch nur dadurch möglich, daß man den Wert des in schier unerschöpflich erscheinenden Mengen vorkommenden

fossilen Brennstoffes, der Kohlen, als Wärmeerzeuger kennen lernte, welche man als solche zwar schon lange kannte, aber nicht in richtiger und ausgiebiger Weise zu verwerten verstand. In der Tat kann man die Kohle das wichtigste materielle Vehikel der Kultur des 19. und auch des 20. Jahrhunderts nennen.

Wenn auch im gegenwärtigen Jahrhundert noch mehr die Wasserkräfte, ja der Wind und die strahlende Energie der Sonne zur Gewinnung motorischer Kraft herangezogen werden, so dürfte die Kohle trotzdem ihre dominierende Stellung in demselben längere Zeit behaupten.

Die Steinkohle speziell ist aber nicht nur heute noch der wichtigste Brennstoff, sondern sie liefert uns indirekt eine ganze Reihe von Stoffen, die uns derzeit als nahezu unentbehrlich erscheinen. Der Steinkohlenkoks bildet den wichtigsten, noch unersetzlichen Brennstoff für viele metallurgische Prozesse, und das Steinkohlengas stellt neben dem elektrischen Licht die Grundlage der wichtigsten und verbreitetsten Beleuchtungsart dar.

Das sogenannte Gas- oder Ammoniakwasser, das einen Teil des Steinkohlenstickstoffes enthält, ist das Ausgangsmaterial für weitaus den größten Teil der technisch so wichtigen Ammoniaksalze, von denen das schwefelsaure Ammoniak als eines der wichtigsten Stickstoffdungmittel von der Landwirtschaft verbraucht wird, während die anderen Ammoniaksalze, wie Salmiak, kohlensaures und salpetersaures Ammoniak die mannigfachsten und wichtigsten technischen Anwendungen finden.*

Und vollends der anfangs wenig gewürdigte Steinkohlenteer, dessen Wert erst nach der besseren wissenschaftlichen Erschließung seiner Zusammensetzung erkannt wurde! Denn wenn wir auch Kohlenwasserstoffe und andere Derivate der aromatischen Reihe aus anderen Stoffen darstellen können (aus Bestandteilen des Braunkohlenteers und Erdöls usw.), so haben wir derzeit noch keinen Ersatz für denselben, und noch ist er das Ausgangsmaterial für eine große Reihe unentbehrlich zu bezeichnender Substanzen. Die kostbarsten, ja fast alle Farbstoffe, welche wir zum Färben der Fasern, Gewebe und anderen Objekte verwenden, in allen Farben des Sonnenspektrums, stammen von Derivaten der Steinkohle; die meisten und wichtigsten Antiseptika, ohne welche wir heute nicht, wie die Erfahrung bewiesen hat, mit so großem Erfolge den früher in furchtbar verheerender Weise auftretenden epidemischen Krankheiten entgegentreten könnten, sind Produkte des Steinkohlenteers. Eine Anzahl erprobter Bestandteile des heutigen Heilmittelschatzes stammen von demselben, und schon besteht auch eine sehr wichtige Industrie, die der künstlichen Riechstoffe, die einen großen Teil ihrer Ausgangsmaterialien indirekt der Steinkohle entnimmt. Mit vollstem Rechte kann man deshalb die fossile Kohle und speziell die Steinkohle als eine der wichtigsten materiellen Grundlagen der jetzigen Kultur betrachten, ohne welche die großartigsten Errungenschaften des Menschen meistens kaum zur Tat hätten werden können.

Und am Beginn dieses Jahrhunderts machte sich in vielen Staaten Europas und auch anderer Weltteile eine empfindliche Kohlenteuerung, lokal sogar eine Kohlennot, fühlbar. So ist es selbstverständlich, daß man sich fragte: Wie lange werden die Schätze dieses kostbaren Vehikels, welches in der Erkenntnis seines Wertes ja als schwarzer Diamant bezeichnet wurde, noch andauern? Wird das nächste und werden die kommenden Jahrhunderte auch noch im Zeichen der Kohle stehen? Haben wir

---

* Ein anderer Teil des Stickstoffes der Steinkohle wird in Form wertvoller Zyanverbindungen aus den Gasreinigungsmassen gewonnen (vgl. S. 28).

bisher hausgehalten mit diesem kostbaren Gute? Und in welcher Weise können wir auf eine rationellere und wirtschaftliche Ausnutzung dieser allgemein notwendigsten Schätze der Natur und demnach auf die möglichst lange Erhaltung derselben hinwirken?

Die Frage nach der Dauer der Steinkohlenvorräte ist schon vor längerer Zeit in mehrfacher Weise erörtert worden. Verschiedene Staatsregierungen haben zu diesem Zwecke Kommissionen eingesetzt, nachdem diese Angelegenheit in den Volksvertretungen zur Sprache gebracht wurde. Auf Bergmannstagen wurden diese Fragen diskutiert, und eine Reihe von Publikationen in verschiedenen Sprachen liegen darüber vor.*

Nach F. Frech stellen sich die Erschöpfungszeiten einiger wichtiger Steinkohlenfelder in Europa folgendermaßen dar:**

1. Die geringste Gesamtmächtigkeit der Schichten und die geringste Zahl der Flöze besitzen die Kohlenreviere von Zentralfrankreich (100 Jahre), Zentralböhmen, das Königreich Sachsen, die Provinz Sachsen (die Flöze der letzteren sind so gut wie erschöpft), die nordenglischen Reviere (Durham, Nordhumberland). Voraussichtliche Förderungsdauer 100 bis 200 Jahre.

2. Wesentlich größer ist die Zahl der Flöze und die Mächtigkeit der gesamten Schichten in den übrigen englischen Kohlenfeldern (250 bis 350 Jahre), Nordfrankreich (350 bis 450 Jahre). Voraussichtliche Förderungsdauer 200 bis 350 Jahre.

3. Noch günstiger liegen die Verhältnisse in Saarbrücken (etwa 800 Jahre), Belgien (etwa 800 Jahre), Aachen und den mit Aachen zusammenhängenden westfälischen (Ruhr usw.) Kohlenfeldern (etwa 800 Jahre). Voraussichtliche Förderungsdauer 400 bis 800 Jahre.

4. Die größte Schichtenmächtigkeit (etwa 5000 m) und Flözzahl besitzt das Steinkohlengebiet in Oberschlesien. Voraussichtliche Förderungsdauer mehr als 1000 Jahre.

Prof. Dr. Frech äußerte sich auch jüngst erst wieder*** über die Kohlenvorräte Deutschlands: 1. Die beiden wichtigsten deutschen Kohlenfelder, das oberschlesische und das niederrheinisch-westfälische, besitzen, soweit die vorliegenden zum Teil noch sehr dürftigen Daten einen Rückschluß gestatten, jedes für sich einen dem englischen zum mindesten gleichkommenden Kohlenvorrat. 2. Dazu kommt noch das nach der Pfalz und Lothringen hinübergreifende Saarbrücker Revier mit rund 7—8 Milliarden Tonnen Kohle im engeren Saarbezirke, das niederschlesische und das sächsische, deren Bedeutung allerdings zurücksteht. 3. Bei der stärkeren Zusammenhäufung der deutschen Flöze auf verhältnismäßig wenig ausgedehnten Gebieten ist eine der englischen oder nordamerikanischen gleichkommende Produktionssteigerung nicht möglich; die Erschöpfungsdauer reicht daher für die beiden Hauptgebiete über ein Jahrtausend hinaus.

Das sind also Zahlen, die irgendwelche Befürchtungen eines Steinkohlenmangels auch für eine sehr ferne Zukunft nicht aufkommen lassen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß ja immerfort noch neue Steinkohlenlager entdeckt werden und namentlich in den anderen Weltteilen noch enorme Steinkohlenlager vorhanden sind, die erst einer rationellen bergmännischen Aufschließung und Ausbeutung harren. Dies gilt zum Beispiel besonders von China, über dessen Steinkohlenvorräte wir dem be-

* Davon sind unter den in deutscher Sprache erschienenen besonders hervorzuheben: Geh. Bergrat R. Nasse: „Die Kohlenvorräte der europäischen Staaten, insbesondere Deutschlands, und deren Erschöpfung." Berlin 1893. — Prof. Dr. F. Frech: „Über Ergiebigkeit und voraussichtliche Erschöpfung der Steinkohlenlager." Stuttgart 1901.

** Loc. cit. pag. 452.

*** „Glückauf" 1910, Heft 17.

rühmten Geologen und Geographen Freiherrn v. Richthofen ausführliche und verläßliche Mitteilungen verdanken. Nachdem v. Richthofen die verschiedenen Anthrazit- und Kohlenvorkommen Chinas geschildert hat, sagt er: „Alle bisher erwähnten chinesischen Vorkommen und überhaupt alle Kohlenfelder der Welt werden durch den Reichtum der Provinz Schansi in Schatten gestellt (C. c. II., pag. 473). Auf einer Fläche von 34870 km² liegen in beinahe söhliger Lagerung mehrere Flöze von Anthrazit, darunter ein Hauptflöz von 6—9 m Mächtigkeit, welches allgemeine Verbreitung besitzt." Die vorhandene Masse des Anthrazits schätzt v. Richthofen auf das Minimum von 630 Milliarden metrische Tonnen; dazu kommt noch — ebenfalls nach Schätzung des sicher vorhandenen Minimums — dieselbe Menge bituminöser Kohle. Das Areal, über welches sich die von Eisen und Töpferton begleiteten mineralischen Schätze ausbreiten, beträgt nicht weniger als 1600 bis 1750 deutsche Quadratmeilen. v. Richthofen sagt schließlich: „Wenn jedoch nach einem Jahrtausend der europäische und nordamerikanische Kohlenvorrat völlig erschöpft sein wird, so dürften die Kohlen und Eisensteine von Schansi zu einem Zentrum der Weltindustrie werden."

2. EIGENSCHAFTEN UND UNTERSCHEIDUNG VON STEINKOHLE UND BRAUNKOHLE

Die Geologie der fossilen Kohlen und die Entstehung derselben ist an anderer Stelle eingehender erörtert, hier soll nur auf die chemische Charakteristik der beiden Kohlen eingegangen werden. Bis vor kurzem war man in geologischen Kreisen allgemein der Anschauung, daß die Braunkohle gewissermaßen nur eine jüngere Bildung, die Steinkohle dagegen eine weit ältere Bildung desselben Charakters sei. So sagt Credner auf S. 275 seines bekannten Lehrbuches der Geologie, 8. Auflage, 1897:

„Die Länge der geologischen Zeiträume ist somit der Hauptfaktor bei der fortschreitenden Entwicklung der Kohlengesteine, so daß deren Kohlenstoffreichtum in demselben Maße zunimmt, je älter sie sind. Torf, Braunkohle und Steinkohle sind einzelne Stadien des besprochenen Verkohlungsprozesses der Pflanzenmasse, Anthrazit und Graphit die Endprodukte desselben." Und S. 293 desselben Werkes sagt Credner: „Sowohl Basalt, Trachyt und Phonolith, wie Melaphyr, Diabas und Porphyr haben an einer großen Anzahl von Punkten Veranlassung zur Verkohlung, d. h. zur Umwandlung von Braunkohle in Steinkohle und Anthrazit und von Steinkohle in Anthrazit und graphitische Substanz gegeben."

In neuester Zeit haben jedoch sehr hervorragende Geologen mehr oder minder entschieden die Ansicht ausgesprochen, daß Braunkohle und Steinkohle sich nicht nur durch die Zeit ihrer Bildung, sondern von vornherein wesentlich und bleibend unterscheiden. So sagt Potonié in seinem Werke: „Die Entstehung der Steinkohlen und verwandten Bildungen einschließlich des Petroleums", 4. Auflage, S. 144: „Es ist daher anzunehmen, daß bei dieser zum Teil chemischen Verschiedenartigkeit der Urmaterialien, aus denen einerseits die Schwarzkohlen des Karbons und anderseits die Braunkohlen des Tertiärs hervorgegangen sind, auch die chemische Beschaffenheit dauernd eine etwas verschiedene bleibt, mit anderen Worten: es dürfte aus angegebenem Grunde aus Braunkohlen des Tertiärs nicht im Laufe der Zeiten eine Kohle werden können, die ganz und gar derjenigen des produktiven Karbons gleicht."

In ähnlichem Sinne sprach sich schon länger vorher Prof. Dr. K. Schumann in seinem „Lehrbuch der systematischen Botanik, Phytopaläontologie und Phytogeogra-

phie" S. 557 aus, wo er die Entstehung der Kohlenlager bespricht: „Man hat früher gewöhnlich geglaubt, daß die Steinkohle ihre besondere physikalische Eigentümlichkeit durch das hohe Alter gewonnen hätte, und hat dann folgerichtig geschlossen, daß aus unserer rezenten Kohle, dem Torf, im Laufe der Jahre Braunkohle wurde, aus dieser aber endlich Steinkohle, so wie sich die letztere in Anthrazit und endlich in Graphit verwandeln mußte. Zu einer derartigen Annahme liegt aber kein Grund vor; im Gegenteil haben wir einen sehr klaren Beweis, daß die Steinkohle von Anfang an als solche gebildet worden ist. Unter den Konglomeraten, nämlich den oberen Karbonschichten, finden sich zuweilen auch Kohlentrümmer eingebettet, und diese zeigen, obwohl sie ganz anderen Bedingungen ausgesetzt gewesen sind als die Flöze, doch stets die charakteristische Natur der Flözkohle. Außerdem spricht der Umstand gegen eine solche allmähliche Metamorphose, daß es ältere Kohlen aus der mesozoischen Zeit gibt, die physikalisch den Braunkohlen gleichen, und wiederum ganz junge Kohlen, welche gewissen Steinkohlen täuschend ähnlich sehen.

Besonders entschieden spricht sich in dieser Richtung Professor Walther (Halle) in seiner „Geschichte der Erde", 1908, S. 29 aus, indem er sagt: „Aber die verschiedene Entstehungsweise der Steinkohlen und der Braunkohlen prägt sich in ihrer verschiedenen chemischen Zusammensetzung noch jetzt deutlich aus. Braunkohle kann zwar äußerlich der Steinkohle ähnlich werden, aber sich niemals in solche verwandeln; wohl aber entsteht aus Steinkohle durch den Gebirgsdruck und die Erdwärme der bekannte Anthrazit." Nach Walther lassen sich drei verschiedene Kohlenarten unterscheiden:

1. die marinen präkarbonen Algenkohlen;
2. die litoralen, aus amphibischen Sumpfgewächsen entstandenen Steinkohlen der Karbon-Permzeit;
3. die aus holzreichen Gymnospermen und Angiospermen gebildeten festländischen postkarbonen (Braun-) Kohlen.

Steinkohlen und Braunkohlen unterscheiden sich in mehrfacher Beziehung mehr oder minder charakteristisch voneinander. Werden Braunkohlen, welchen Alters immer, und selbst die durch Kontaktmetamorphose ganz umgewandelten Arten mit konzentrierterer Kali- oder Natronlauge erwärmt, so erhält man stets eine mehr oder minder intensiv braungefärbte Lösung, aus welcher durch Säuren dunkelbraungefärbte Niederschläge ausgefällt werden (stickstoffhaltige Humusstoffe).* Steinkohlen, in gleicher Weise behandelt, zeigen eine kaum schwach gelblichgefärbte Lösung. Die Braunkohlen sind im allgemeinen hygroskopischer als Steinkohlen. Es gibt namentlich unter den erdigeren Arten derselben solche, welche beim Liegen in feuchter Luft über 40 % Feuchtigkeit aufnehmen können, ohne daß diese durch die äußere Beschaffenheit zu erkennen ist; bei Steinkohlen kommt dies nicht vor. Charakteristisch ist auch das Verhalten der beiden Kohlen beim Erhitzen unter Luftabschluß. Während bei der Braunkohle die einzelnen Stücke im Rückstande miteinander kaum zusammenhängen, ja bei gewissen Braunkohlen größere Stücke sogar in kleinere zerspringen, ist bei den Steinkohlen immer ein gefritteter gesinterter Rückstand da. Bei gewissen Arten backen die einzelnen Stücke unter der Erscheinung gasiger Aufblähungen vollständig zusammen (Koks), welche Eigenschaft eben als Koksbarkeit bezeichnet wird.

Da der Stickstoffgehalt der Steinkohlen meist größer ist als der der Braunkohlen, diese dagegen wieder durchschnittlich sauerstoffreicher sind, so liefern letztere beim

* Siehe O. Manouschek: „Braunkohle." 1909.

Erhitzen in einem Probierglase meist Dämpfe, welche durch vorherrschende Essigsäure und ihre Homologen sauer reagieren, während bei gleicher Behandlung von Steinkohle durch vorwaltendes Ammoniak und durch Ammoniakbasen (Anilin, Lepidin und dergleichen) ammoniakalisch reagierende Dämpfe sich bilden. Überhaupt sind für die beiden fossilen Kohlen auch die Eigenschaften der Destillationsprodukte sehr charakteristisch; nicht nur, daß das Gas- oder Teerwasser bei den Steinkohlen alkalisch reagiert, enthält der Steinkohlenteer neben Kohlenwasserstoffen der aliphatischen Reihe doch vorzugsweise Kohlenwasserstoffe und Derivate der aromatischen Reihe, darunter Benzol, Toluol usw., Naphthalin, Anthrazen und andere hochmolekulare aromatische Kohlenwasserstoffe. Der Braunkohlenteer jedoch besteht der Hauptsache nach aus flüssigen und festen Gliedern der Paraffin- sowie der Olefinreihe, ev. auch noch wasserstoffärmeren Fettkohlenwasserstoffen. Von Körpern der aromatischen Reihe enthält er gewisse Kohlenwasserstoffe wie Benzol und substituierte Phenole in weitaus untergeordneter Menge.

Außer den bereits bezeichneten Unterscheidungsmerkmalen der beiden fossilen Kohlen ist aber zur Charakterisierung und Unterscheidung in allen Fällen geeignet das von Ed. Donath und F. Bräunlich studierte Verhalten derselben gegen verdünnte Salpetersäurelösung (1 : 10). Auf Braunkohlen verschiedenen Alters wirkt so verdünnte Salpetersäure immer mehr oder minder heftig ein. Die Reaktion beginnt am Wasserbade schon bei etwa 70° mit der reichlichen Entwicklung gasiger Körper, wird bei weiterem Erhitzen immer lebhafter, führt aus starker Selbsterwärmung des Reaktionsgemisches häufig bis zur Siedetemperatur unter starkem Aufschäumen der ganzen Masse, das auch ohne nunmehrige äußere Wärmezufuhr bei Verarbeitung größerer Mengen Braunkohle mitunter stundenlang anhält. Bei dieser Einwirkung entstehen bei Braunkohle sehr charakteristische Reaktionsprodukte: entweichende, gasförmige, wie Kohlendioxyd, Zyanwasserstoff, Stickstoffsauerstoffverbindungen sowie Stickstoff selbst (letzterer bis zu 40 % der entweichenden Gase), und in der Flüssigkeit gelöst bleibende, wie Ameisensäure, Essigsäure und höhere homologe Fettsäuren, in reichlicher Menge Ammoniak und Oxalsäure sowie schließlich eine die Flüssigkeit intensiv rotfärbende Substanz, durch welche sie die Farbe einer gesättigten Kaliumbichromatlösung erhält. Selbst Braunkohle, welche infolge eines Phenolytdurchbruches zu sogenanntem Braunkohlenanthrazit umgewandelt wurde (Kontaktmetamorphose der Braunkohlen in den Brucher Kohlenwerken in Böhmen), reagierte mit verdünnter Salpetersäure ganz ähnlich wie unverbrannte Braunkohle. Ebenso verhält sich auch sogenannte Schwarzkohle und Anthrazit aus dem niederhessischen Tertiär bei Kassel, die aus dem schon alten sogenannten „Steinkohlenbergwerk" auf dem Meißner stammt; das Verhalten gegen verdünnte Salpetersäure zeigte jedoch deutlich den Charakter derselben als Braunkohle.

Auch eine mittelbar durch einen Grubenbrand deutlich, aber doch nicht stark veränderte Braunkohle zeigte, wenn auch in schwächerem Grade, dasselbe charakteristische Verhalten. Holzkohle, durch Retortendestillation zum Zwecke der Gewinnung von Holzgeist und Essigsäure gewonnen, erwies sich ebenfalls durch verdünnte Salpetersäure unter Bildung der gleichen Reaktionsprodukte sehr leicht zersetzbar.

Steinkohlen verhalten sich gegen verdünnte Salpetersäure jedoch ganz anders.*

* Ich habe Steinkohle von Mähr.-Ostrau untersucht, die der Hauptmasse nach gegen verdünnte Salpetersäure (1 : 10) indifferent blieb, aber Einschlüsse von deutlichem holzigem Ursprung enthielt, welche, wenn auch schwach, doch deutlich die beschriebenen Reaktionen mit verdünnter Salpetersäure zeigten. Dth.

Bei der Wasserbadtemperatur erfolgte überhaupt keine Einwirkung der verdünnten Salpetersäure, und erst beim stärkeren Erhitzen auf dem Sandbade wurde die schwache Bildung nitroser Dämpfe sowie die Bildung von Kohlensäure festgestellt, ohne daß jedoch nur in einem einzigen Falle die anderen Produkte nachgewiesen werden konnten. Unter Berücksichtigung des Angeführten können daher folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Braunkohle und Steinkohle sind durchaus, zumindest in der überwiegenden Anzahl ihrer Typen, vollständig voneinander verschieden.*

2. Braunkohle kann weder durch eine längere Dauer des Verkohlungsprozesses noch durch Kontaktmetamorphose in Steinkohle übergehen.

3. Die chemische Zusammensetzung des Materials, aus dem die Braunkohle entstand, war eine wesentlich andere als desjenigen, dem die Steinkohle entstammt.

4. Das pflanzliche Urmaterial der Braunkohle war durchaus ligninhaltig, während sich mit großer Wahrscheinlichkeit sagen läßt, daß das Urmaterial der Steinkohle der Hauptsache nach ligninfrei war, mit Einschlüssen ligninhaltiger, also Holzpflanzen, dagegen stets gewisse, relativ größere Mengen von Proteinstoffen, wahrscheinlich tierischen Ursprungs, enthielt.

5. Bei der Bildung der Steinkohle hat in den meisten Fällen aus verschiedenen, noch nicht näher festgestellten Ursachen eine mehr oder minder weitgehende Erwärmung und Druckdestillation mitgewirkt, von deren Produkten ein großer Teil sich in polymerisiertem und kondensiertem oder anders chemisch umgeformtem Zustande in der Steinkohle neben den anderen Kohlungsprodukten findet.

6. Die bei manchen Steinkohlen besonders stark auftretende Eigenschaft des Backens rührt zum Teil von diesen gewissermaßen pechartigen Produkten der Steinkohle sowie anderseits von den Abbauprodukten der Proteinstoffe des ursprünglichen Materials her, deren Mengen mit dem Stickstoffgehalt sowie insbesondere mit dem Gehalt an organischem oder Konstitutionsschwefel zusammenhängen, so daß die Summe dieser beiden auch zum Teil zu der Backfähigkeit in gewisser Beziehung steht.

3. DIE VERWENDUNG DER STEINKOHLE**

Unter den fossilen Brennstoffen bilden die Steinkohlen sowohl ihrer Menge nach wie auch nach ihrer wirtschaftlichen und technischen Bedeutung den weitaus wichtigsten Teil. Von der Weltproduktion an Kohle, welche man derzeit auf über 900 Millionen Tonnen schätzen kann, dürften kaum 100 Millionen Tonnen auf Braunkohle entfallen, und von allen Ländern mit größerer Kohlenproduktion ist Österreich-Ungarn das einzige, in welchem letztere überwiegt. Bezüglich des Heizwertes reicht an die Steinkohle nur das Erdöl heran, kann jedoch wegen seiner geringeren Verbreitung und auch seiner beschränkteren Anwendungsmöglichkeit mit dieser nicht konkurrieren.

Die verschiedenen Verwendungsarten von Steinkohle sind folgende:

---

* Eine besondere Art von Kohlen scheinen gewisse Kohlen aus der oberen Kreide nach meinen noch nicht abgeschlossenen und noch nicht veröffentlichten Versuchen darzustellen. Sie verhalten sich gegen Kalilauge und verdünnte Salpetersäure ausgesprochen so wie Braunkohlen, geben aber ein stark ammoniakalisches Destillat (die Untersuchungen der Teere aus Kreidekohlen sind noch nicht abgeschlossen). Daß sie sich in gewissem Sinne wie Braunkohlen verhalten, ist leicht begreiflich, da diese Kohlen Einschlüsse von Blättern von Laubhölzern enthalten.

** Bei der Bearbeitung eines Teiles der von mir verfaßten Kapitel des Manuskripts sowie bei der Durchsicht und Korrektur desselben hat Herr Privatdozent Ing. A. Gröger mitgewirkt. Ed. Donath.

1. Unmittelbar als Brennstoff. Als solcher ist sie derzeit noch, abgesehen von lokalen Verhältnissen, der wichtigste feste Brennstoff sowohl für industrielle Betriebe als auch für den Hausbrand.

2. Zur Erzeugung von Luft-, Kohlenoxyd- oder Generatorgas.

3. Zur Gewinnung von Koks, wobei dieselben das Hauptprodukt des Betriebes sind. Diese durch ihre Festigkeit und vollständige Entgasung ausgezeichneten Kokse werden vorzugsweise für hüttenmännische Betriebe erzeugt und heißen deshalb Hüttenkoks.

4. Zur Herstellung von Leuchtgas. Hierbei ergeben sich als Nebenprodukt ebenfalls Kokse, welche jedoch weniger entgast und minder dicht und fest sind; dieselben werden als Gaskoks bezeichnet.

So wie bei der eigentlichen Koksgewinnung resultiert auch bei der Leuchtgaserzeugung der Steinkohlenteer, dessen technische Verarbeitung später erörtert werden wird.

5. Der Koks dient zur Darstellung von Wassergas, welches entweder für sich allein oder in verschiedener Kombination mit Steinkohlenleuchtgas verwendet wird.

UNMITTELBARE VERWENDUNG ALS BRENNSTOFF. Die seit jeher und auch derzeit noch hauptsächlich praktizierte Verwendung der Steinkohlen besteht in der ausschließlichen Ausnutzung ihres absoluten Heizeffekts, also als Brennmaterial zur Wärmeerzeugung, sei es bei Öfen für metallurgische oder andere chemisch-industrielle Zwecke, sei es zur Dampferzeugung entweder für den Dampfmaschinenbetrieb oder zur direkten Anwendung des Dampfes, wie z. B. in Zuckerfabriken, Brauereien, Färbereien usw., oder sei es endlich als Hausbrand für die Öfen und Kochherde unserer Wohnungen. Diese Art der Verbrennung am Rost war nicht nur lange eine äußerst unvollkommene, sondern ist es auch derzeit noch, und es ist damit die Ruß- und Rauchplage verbunden, welche für große Städte, ja mitunter für ganze Gegenden eine große und kaum zu überwindende Kalamität bildet. Daß diese Ausnutzung der Steinkohle eine so mangelhafte war und noch ist, lag anfangs darin, daß man bei der Billigkeit ihres Preises — namentlich an den Gewinnungsorten — sich kein Gewissen machte, sie zu verschwenden, zum Teil auch darin, daß man sich längere Zeit unrichtige Vorstellungen über diesen Verbrennungsprozeß in der Technik machte. Es sei hier nur an die Theorie vom „Lufthunger" unserer Feuerungen erinnert, welche noch in den sechziger Jahren anzutreffen war und erst widerlegt wurde, als man durch die Kenntnis einfacher Apparate regelmäßige Rauchgasanalysen vorzunehmen in der Lage war.

In technischer Richtung sind da allerdings sehr bedeutende Fortschritte zu verzeichnen, und wenn wir heute auch noch keine absolut rauchlose Feuerung für feste Steinkohle besitzen, so kennen wir doch bereits eine große Anzahl von Systemen rauchschwacher und sehr gut funktionierender Verbrennungsvorrichtungen, deren Prinzip im wesentlichen meistens darin besteht, daß man die zutretende Verbrennungsluft auf das Minimum beschränkt und, wenn möglich, wenigstens einen Teil derselben vor dem Zutritt zu den Entgasungsprodukten der Kohle vorwärmt.

Viel ungünstiger stellt sich diese Art der Ausnutzung der Steinkohle bei der häuslichen Verwendung, also im Hausbrand, dar, für welchen je nach dem Klima des Landes 23 – 28 % des gesamten Kohlenquantums verwendet werden.

Auf dem Gebiete des Großbetriebes der Wohnungsbeheizung in großen öffentlichen Gebäuden, also in der Zentralluft-, Dampf- und Wasserheizung, wurden gewiß große Fortschritte gemacht, auch kennen wir eine größere Anzahl von Ofensystemen,

größere Typen rationellster Konstruktion. Die weitaus überwiegende Anzahl der gewöhnlichen Zimmeröfen zeigt jedoch eine viel weniger zweckmäßige Konstruktion als in früheren Zeiten, ja die meisten derselben sind den Prinzipien der Technik nahezu hohnsprechend gebaut, weil dabei vorzugsweise Geschmack und Mode in Betracht gezogen werden, während ältere Ofentypen viel günstigere Konstruktionen aufweisen.

Sollten jedoch auch die Methoden der Steinkohlenverbrennung am Rost noch so sehr vervollkommnet und die guten Feuerungen allgemein eingeführt werden, so kann dennoch diese Art der Ausnutzung von nationalökonomischem Standpunkte aus nicht als die wirtschaftlichste angesehen werden, weil hierbei die Fähigkeit der Steinkohle, Teerderivate der aromatischen Reihe zu bilden, ganz unbenutzt und zugleich ihr gesamter Stickstoff- und Schwefelgehalt unverwertet bleibt.

LUFT-KOHLENOXYD-GENERATORGAS. Man versteht darunter ein Gas, welches durch partielle Verbrennung bzw. Vergasung kohlenstoffreicher Brennstoffe mit atmosphärischem Sauerstoff entsteht.

Denken wir uns in einem schachtförmigen Raume einen solchen Brennstoff in gewisser Höhe aufgeschüttet, so wird, wenn letzterer unten entzündet wird, in der untersten Schicht partiell unmittelbar eine Verbrennung und Vergasung von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd, wesentlich aber zu Kohlendioxyd erfolgen, wodurch Wärme entwickelt wird:

$$C + O = CO + 29000 \text{ Cal. und}$$
$$C + O_2 = CO_2 + 97000 \text{ Cal.}$$

Das aufsteigende Kohlendioxyd wird durch den Überschuß von Kohle bei entsprechender Temperatur wieder zu Kohlenoxyd reduziert:

$$CO_2 + C = 2CO.$$

Durch die bei der Verbrennung entwickelte Wärme wird nun zunächst der Brennstoff entgast und der kohlenstoffreiche Entgasungsrückstand entsprechend stark erwärmt, so daß die einmal eingeleitete Verbrennung zu Kohlenoxyd forterhalten wird. Bei dieser Entgasung, wobei sich Wasserdampf, gasförmige Kohlenwasserstoffe und andere Substanzen verschiedenster Art bilden, wird Wärme gebunden. Je weniger Wasserstoff und Sauerstoff ein Brennstoff enthält, je weniger Wasserdampf und Entgasungsprodukte demnach entstehen können, desto höher wird die Temperatur im Generator sein (heißgehende Generatoren). Solche Verhältnisse finden wir bei Koks und Anthrazit. Je reicher an Wasserstoff und Sauerstoff dieser Brennstoff ist, desto mehr Wärme wird für die Entgasung bzw. Wasserverdampfung in Anspruch genommen, desto geringer wird die Temperatur des Generators werden (kaltgehende Generatoren). Bei der Vergasung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd wird das entstandene Gas dem Volumen nach eine dem folgenden Schema entsprechende Zusammensetzung haben:

$$\underset{1\text{ Vol.}}{C} + \underset{1\text{ Vol.}}{O} + \underset{4\text{ Vol.}}{4N} = \underset{2\text{ Vol.}}{CO} + \underset{4\text{ Vol.}}{4N}$$

Ein ideales Generatorgas hätte daher in Raumteilen die Zusammensetzung:

$$33{\cdot}3\,CO \text{ und } 66{\cdot}7\,N.$$

In Wirklichkeit wird das Generatorgas sich selbstverständlich mehr oder minder von dieser idealen Zusammensetzung entfernen, da ja, selbst wenn man den Wasserdampf vollständig kondensiert, noch immer Entgasungs- und Zersetzungsprodukte, Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff sich dem Gase beimischen werden. Endlich wird,

namentlich bei kälter gehenden Generatoren, ein Teil des Kohlenstoffes zu Kohlendioxyd verbrennen und dieses Gas aber, einmal gebildet, auch trotz der Brennstoffschicht, die es passiert, nicht mehr zu CO reduziert werden. Die angegebene ideale Zusammensetzung wird bei einem Generatorgasbetrieb desto mehr erreicht werden, je mehr sich der angewandte Brennstoff dem Kohlenstoff selbst nähert, also bei Koks, Holzkohle, und je heißer der Gang des Generators ist.

Verwendet man rohe Brennstoffe, so werden in dem Generatorgas selbst gasförmige Kohlenwasserstoffe und andere zu Teer sich verdichtende Substanzen enthalten sein, welche bei der Weiterleitung dieses Gases häufig eine Abscheidung dieser Teerbestandteile notwendig machen. Der Stickstoff der zu Generatorgas vergasten Brennstoffe geht vollständig verloren, da das gebildete NH_3 bei relativ hoher Generatortemperatur schon völlig zerlegt wird und die nicht zerlegt werdenden Mengen später in den Verbrennungsraum gelangen. Bei der Verwendung von Steinkohlen zur Generatorgaserzeugung muß man deshalb nicht nur den sonst als Ammoniak oder Zyan gewinnbaren Stickstoff verloren geben, sondern auch die in Form von aromatischen Substanzen verwertbaren, aus der Steinkohle sich bildenden Destillationsprodukte, deren Verkaufswert derzeit ein ungleich höherer ist als eine äquivalente Menge von Kohlenstoff bzw. Kohle vom Standpunkt der Wärmeerzeugung allein.

Die Entwicklung des Gasgeneratorbaues wird am raschesten versinnbildlicht durch die beifolgenden zwei Abbildungen, von denen die eine den seinerzeit bei der Einführung der Gasregenerativfeuerung zumeist verwendeten Treppenrostgenerator darstellt, während die andere einen modernen Generator, den von v. Kerpely zeigt.

Die Abbildung des Treppenrostgenerators (Abbildung 1) ist fast selbstverständlich. Eine gewisse Menge eines Brennstoffes, insbesondere Steinkohle, wurde dort in einem durch einen Treppenrost und durch einen Planrost abgeschlossenen Raum unter Zutritt einer zur Verbrennung nicht ausreichenden Luftmenge in besprochener Weise vergast.

Die mannigfachen Nachteile eines solchen Generators, das Rostputzen, das Aschen- und Schlackenziehen, die damit verbundene Ungleichartigkeit des erzeugten Gases usw., werden bei den neueren Generatoren, wie z. B. dem von v. Kerpely, vermieden.

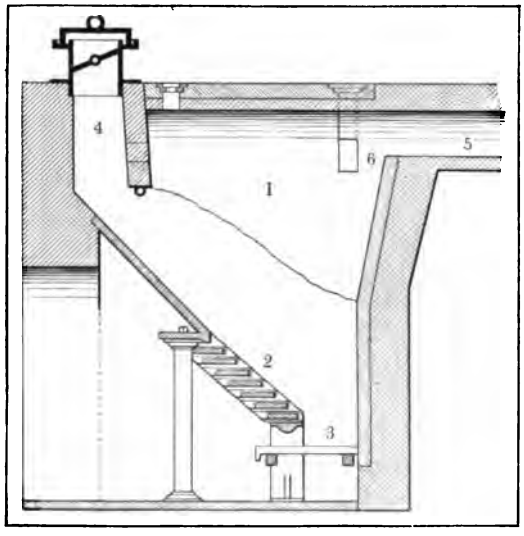


Abbildung 1. Treppenrostgenerator.

Dieser arbeitet automatisch und kontinuierlich unter fast vollständigem Ausschluß menschlicher Hilfsarbeit; die durch den drehbaren, geeignet gebauten Rost in fortgesetzte Bewegung gebrachte Beschickungssäule erfordert keine Stocherarbeit, wodurch jede Störung der regelmäßigen Gasentwicklung entfällt; die Asche steigt ununterbrochen aus der in langsamer Drehung befindlichen Aschenschüssel an dem feststehenden Abstreifer auf, um dann über das Austragsblech automatisch in den Aschenkanal befördert zu werden. Durch dieses kontinuierliche Arbeiten wird ein vollkommen gleichwertiges und hochwertiges Gas erzeugt und eine hohe Durchsatzleistung erzielt.

Der Generator besteht, wie aus Abbildung 2 ersichtlich, aus einem auf vier Konsolen gestützten doppelwandigen, mit Wasser

gekühlten Mantel a. In diesen ragt der auf einer unter Wasserabschluß rotierenden Schüssel b aufgebaute pyramidenartige Rost c hinein. Diese Schüssel b ruht auf einer mit Kugeln ausgestatteten Unterlage d; ihr äußerer Umfang ist mit einer Verzahnung versehen und wird durch die Schnecke e von dem Antriebsapparat f angetrieben.

Der Wind wird durch das Windrohr g zentral unter den Rost e eingeblasen; in dasselbe Rohr mündet das Dampfrohr h ein.

Das Kühlwasser für den doppelwandigen Mantel a wird durch das Rohr i zugeführt und durch das Rohr k abgelassen.

Um keine Windverluste zu erleiden, ist unter der Schüssel b ein kreisrunder, mit Wasser gefüllter Abschlußring m eingebaut, in welchen das abschließende Blech n, das an der höherliegenden Schüssel b befestigt ist, hineinragt.

Die Asche wird durch die kontinuierliche Bewegung der Schüssel b mittels des Räumers o abgestreift und fällt dann ohne weitere Manipulation in den Aschenkanal p.

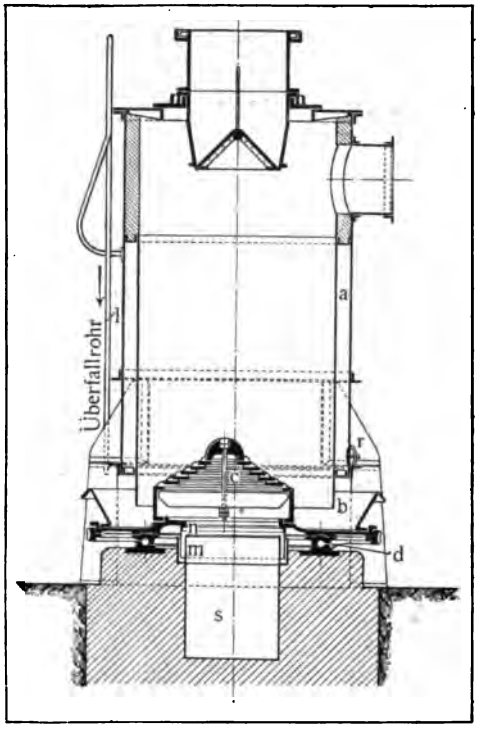


Abbildung 2. Generator von Kerpely.

Am unteren Ende des Mantels a sind einige kleine Öffnungen r angebracht, damit für den Fall, als nicht gereinigtes Wasser zur Kühlung verwendet werden sollte, die darin befindlichen Unreinheiten, welche sich zu Boden setzen, entfernt werden können. Der obere Teil des Mantels a ist, wie aus der Zeichnung zu ersehen, mit Ziegeln ausgemauert.

Unter normalen Verhältnissen und bei einem durchschnittlichen Aschengehalt der Kohle von 10 % vergast der Generator täglich 200 bis 250 q. Um einen regelmäßig guten Gang zu erzielen, ist auf folgendes zu achten:

Der Antrieb der Schüssel b ist, entsprechend dem Aschengehalt der Kohle und der vergasten Brennstoffmenge, so zu regeln, daß die Schütthöhe eine genügend hohe bleibt. Bei Vergasung von Braunkohle mit einem Aschengehalt von etwa 10 % beträgt die mittlere Umlaufszeit ca. 5 Stunden pro Umdrehung. Die Konstruktion des Antriebes gestattet eine Steigerung der Geschwindigkeit bis auf ca. 1 Umdrehung pro Stunde. Die Hauptantriebswelle macht ca. 80 Umdrehungen in der Minute.

Der Kühlwasserverbrauch beträgt 0,5 bis 1 Liter pro Sekunde. Eine Erwärmung des Kühlwassers bis auf 70° C ist zulässig. Das Überfallrohr l ist zu dem Zwecke angebracht, um bei übermäßiger Erwärmung des Kühlwassers im Mantel a eine Dampfentwicklung zu verhindern.

Wegen Schlammabsetzens des Kühlwassers im Mantel a empfiehlt es sich, den Schlamm mindestens einmal monatlich bei den kleinen Öffnungen r zu entfernen. Das Wasser im Abschlußring m muß täglich erneuert werden.

Die Asche, die durch den Rost in den darunter befindlichen Kanal s fällt, soll alle 3—4 Wochen entfernt werden; dies kann während des Betriebes leicht geschehen.

Der Windverbrauch richtet sich nach der vergasten Kohlenmenge. Der Winddruck beträgt 40—80 mm Wassersäule unter dem Rost.

Das beiläufige Quantum Wasserdampf, welches beim Generator eingeblasen wird, beträgt 150 g per Kubikmeter eingeblasenen kalten Windes.

Die Durchschnittsanalyse des im Eisenwerke Donawitz aus Fohnsdorfer und Seegrabner Braunkohle im Generator erzeugten Gases weist folgende Zusammensetzung auf:

$CO_2 = 2{\cdot}5—3\,\%$ $O = 0\,\%$ $CO = 30—31\,\%$ $H = 12—14\,\%$, $CH_4 = 2\,\%$.

4. DIE VERKOKUNG DER STEINKOHLE

Der Zweck der Kokerei besteht darin, durch möglichste Entfernung von Sauerstoff und Wasserstoff, wobei ein Teil des Kohlenstoffes ebenfalls zur Verflüchtigung gelangt, den absoluten Heizeffekt des Brennstoffes zu erhöhen und dadurch mit dem gewonnenen Koks bei einem höheren pyrometrischen Effekt eine rauchfreie Verbrennung zu erzielen. Ein weiterer Zweck ist die Verflüchtigung des besonders bei Verwendung in der Metallurgie sehr schädlichen Schwefels.

Letzterer kommt in den Steinkohlen in verschiedenen Formen vor, der Hauptmenge nach meist als Sulfidschwefel in Form von Schwefelkies FeS_2 (auch als Kupferkies und andere Schwefelmetalle). Bei der hohen Temperatur der Verkokung nun wird ungefähr die Hälfte des darin enthaltenen Schwefels einfach durch Verflüchtigung entfernt. Weiter ist der Schwefel auch in der organischen Substanz der Kohlen als organischer oder konstitutioneller Schwefel enthalten, und dieser entweicht bei der Verkokung zum größten Teil in Form von Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Thiophen und anderen schwefelhaltigen Kohlenwasserstoffen. Ein dritter Teil des Schwefels endlich ist in den Steinkohlen in Form von Sulfaten enthalten, welche im Koksofen durch den im Überschuß vorhandenen Kohlenstoff in Sulfide verwandelt werden. Wird nun der Koks im glühenden Zustande unmittelbar nach dem Ziehen aus den Öfen mit Wasser bespritzt („abgeschreckt"), so zersetzen sich diese Sulfide unter Bildung von Schwefelwasserstoff, dessen Geruch man beim Abschrecken deutlich wahrnimmt.

Die verschiedenen Steinkohlenarten nun sind für Kokereizwecke keineswegs gleichartig und gleichwertig. Aufschluß über ihren diesbezüglichen Charakter erlangt man durch die sogenannte Verkokungsprobe, indem man durch Glühen einer gewogenen Menge gepulverter Kohle im bedeckten Tiegel sowohl Gewicht und Beschaffenheit des zurückbleibenden Kokses als auch die Zusammensetzung des entweichenden Gases ermittelt. Je nach dem Verhalten der einzelnen Kohlensorten pflegt man hiernach im allgemeinen fünf Hauptgruppen derselben zu unterscheiden, ohne jedoch zwischen diesen scharfe Grenzen ziehen zu können (s. nebenstehende Tabelle).

Wie daraus ersichtlich, hinterlassen die mit langer, mäßig rußender Flamme verbrennenden und verhältnismäßig kohlenstoffarmen und sauerstoffreichen Flammkohlen bei einer Gasausbeute von etwa 40 % nur wenig Koks, und zwar von ungenügender Beschaffenheit. Sie dienen daher vornehmlich für Flammofenfeuerungen und auch zur Darstellung von Leuchtgas.

Zwischen ihnen und den Fettkohlen stehen die eigentlichen Gaskohlen, welche für die Zwecke der Leuchtgasbereitung die wertvollsten sind, da sie sowohl viel Gas als auch mehr oder weniger gesinterten Koks liefern.

Die bereits kohlenstoffreicheren Fettkohlen mit nur mehr 5—10 % Sauerstoff geben neben starkleuchtend brennendem Gase gut zusammenbackenden Koks, weshalb sie auch Backkohlen heißen. Zufolge dieser Eigenschaften werden sie als

Steinkohlentypen	Zusammensetzung	Verhältnis von O:H	Koksausbeute	Spez. Gewicht des Kokses	Beschaffenheit des Kokses
1. Trockene Kohle mit langer Flamme: Flammkohle.	75 bis 80 % C 5·5 „ 4·5 % H 19·5 „ 15·5 % O	3—4	50—60	1·25	pulverförmig, höchstens zusammengefrittet
2. Fette Kohle mit langer Flamme: Gaskohle.	80 bis 85 % C 5·8 „ 5·0 % H 14·2 „ 10·0 % O	2—3	60—68	1·28—1·30	geschmolzen, aber stark zerklüftet
3. Fette Kohle: Schmiedekohle.	84 bis 89 % C 5·5 „ 5·0 % H 10·5 „ 6·0 % O	1—2	68—74	1·30	geschmolzen bis mittelmäßig kompakt
4. Fette Kohle mit kurzer Flamme: Kokskohle.	88 bis 91 % C 5·5 „ 4·5 % H 6·5 „ 4·5 % O	2	74—82	1·30—1·35	geschmolzen, sehr kompakt, wenig zerklüftet
5. Magere Kohle mit kurzer Flamme: Magerkohle bzw. Anthrazit.	90 bis 93 % C 4·5 „ 4·0 % H 5·5 „ 3·0 % O	1	82—92	1·35—1·41	gefrittet oder pulverförmig

Schmiedekohlen, vornehmlich aber zur Koksgewinnung verwendet, die gasreichen Sorten auch zur Herstellung von Leuchtgas, während man sie für Heizzwecke weniger bevorzugt, da sie stark rußen. Eine besonders gasreiche Fettkohle mit mattem Glanz, festem Gefüge und muscheligem Bruch ist die englische Kannelkohle, welche, an der Flamme entzündet, wie ein Licht weiterbrennt. Eine ihr ganz ähnliche und namentlich als Gaskohle benutzte Art ist die Bogheadkohle.

Die schwer entzündlichen und kurzflammigen Magerkohlen sind arm an Wasserstoff und Sauerstoff, geben daher beim Verkoken wenig Gas und liefern als Koks meist nur ein sandiges Pulver, weshalb man sie auch Sandkohlen nennt. Da sie nicht rauchen und rußen, eignen sie sich vornehmlich für Heizzwecke, wo keine lange Flamme nötig ist. Die wertvollsten unter ihnen sind die tiefschwarzen, im Feuer nicht erweichenden Anthrazitkohlen Englands und besonders Nordamerikas, welche namentlich zur Wassergasbereitung und für Dauerbrand-Zimmeröfen benutzt werden.

In neuerer Zeit nun hat der Begriff „Kokskohlen" allerdings eine wesentliche Erweiterung erfahren, sowohl zufolge der besseren Ofenkonstruktionen als auch dadurch, daß man lernte, durch das Stampfverfahren oder durch Mischen von gasarmen und gasreichen Kohlen auch aus minderwertigem Material guten Koks darzustellen. Während daher zur Erzeugung von Hüttenkoks früher nur die genannten spezifischen Kokskohlen Anwendung fanden, kann man heute dazu auch vordem nicht verwendbare Sorten benutzen, insofern sie im allgemeinen nicht weniger als 15 und nicht mehr als 35 % flüchtiger Bestandteile enthalten. Und während bei der Leuchtgasbereitung Stückkohlen zur Verwendung gelangen, dient für die Kokserzeugung das Kohlenklein oder die sogenannte Feinkohle, welche früher ein nur geringwertiges Nebenprodukt bei der Aufbereitung der Steinkohlen darstellte.

DIE KOKSÖFEN. Lange Zeit hindurch wurde die Koksgewinnung in höchst primitiver Weise durchgeführt, da sie nämlich anfangs nach dem Prinzip der Meilerholzverkohlung erfolgte, indem man durch eine teilweise Verbrennung der Steinkohle Wärme erzeugte, welche den anderen Teil derselben zur trockenen Destillation und

Entgasung brachte. In diesen Steinkohlenmeilern, Meileröfen, Stadeln und Bienenkorb- oder Backöfen wurden stets beträchtliche Mengen wertvoller Destillationsprodukte in die Luft gejagt, wodurch Millionen an Werten verloren gingen.

Man gelangte daher später zur Verkokung in geschlossenen Öfen, bei welchen die eingechargierte Kohle durch die Verbrennungswärme der entwickelten dampf- und gasförmigen Produkte, die in verschiedenen geschlossenen Kanälen um die Verkokungskammern zirkulierten, zur Entgasung gebracht wurde. War diese Art der Verkokung auch schon eine wesentlich rationellere, so litt sie doch noch an denselben Mängeln wie die frühere Verbrennung und Vergasung der Steinkohle, weil weder Teer noch Stickstoff noch Schwefel zur Verwertung gelangen konnten.

Man ging deshalb zunächst zur Gewinnung des Teers über, dann zur Gewinnung des Ammoniaks und endlich auch zu der lange geheimgehaltenen Gewinnung des Benzols, des wertvollsten Bestandteils der Kokereigase. Diese Art der Kokerei, welche mit der Gewinnung der Nebenprodukte verbunden ist, bezeichnet man nach dem Vorschlag von Bunte als Destillationskokerei. Bei dieser wurden zunächst die entteerten und von Ammoniak und Benzol befreiten Gase zur Heizung der Koksöfen, ein eventueller Überschuß zur Dampfkesselheizung und schließlich auch zum Betriebe von Gasmotoren verwendet.

Auf diesem Gebiete sind gerade in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht worden, welche die Destillationskokerei wirtschaftlich noch günstiger gestalten und sich auch noch aus anderen technischen Gründen der Retortendestillation an die Seite stellen.

Die Entwicklung der Nebenproduktengewinnung und ihr Einfluß auf die Rentabilität der Kokereien ist heute derart, daß man nicht mehr von Nebenprodukten reden sollte; der Koks wird so niedrig gehandelt, daß der Verdienst bei den sogenannten Nebenprodukten gesucht und reichlich gefunden wird. Es sind also die Nebenprodukte heute: Hauptprodukte.

Im Deutschen Reiche und in Österreich sind für die Zwecke der Destillationskokerei insbesondere die Unterfeuerungsöfen von Hoffmann-Otto sowie die Abhitzekoksöfen (Unterbrenneröfen) und Regenerativöfen von Koppers in Essen in Anwendung. Diese zwei Systeme sind nun im folgenden, soweit es zum Verständnis der wesentlichen Konstruktionsprinzipien notwendig ist, beschrieben und durch entsprechende

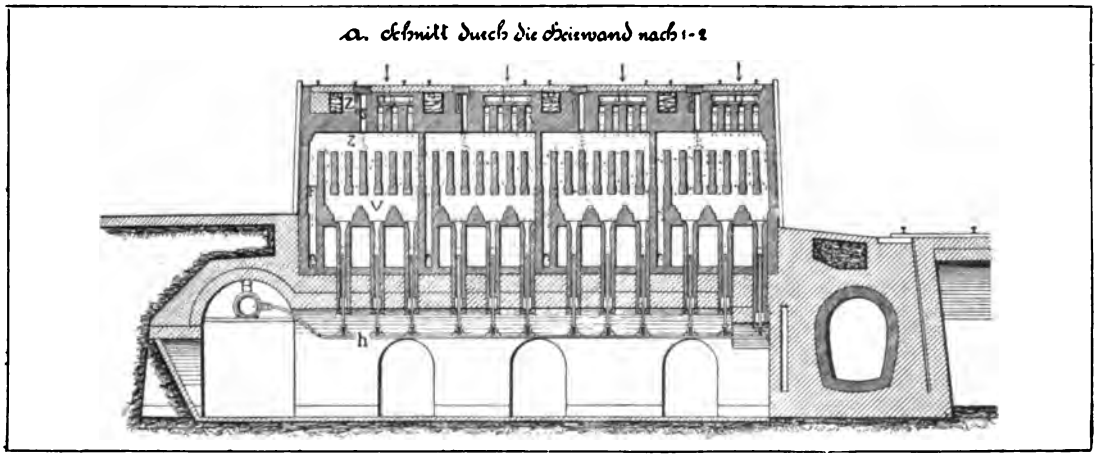


Abbildung 3a. Hoffmann-Ottoscher Unterfeuerungsofen mit Nebenproduktengewinnung.

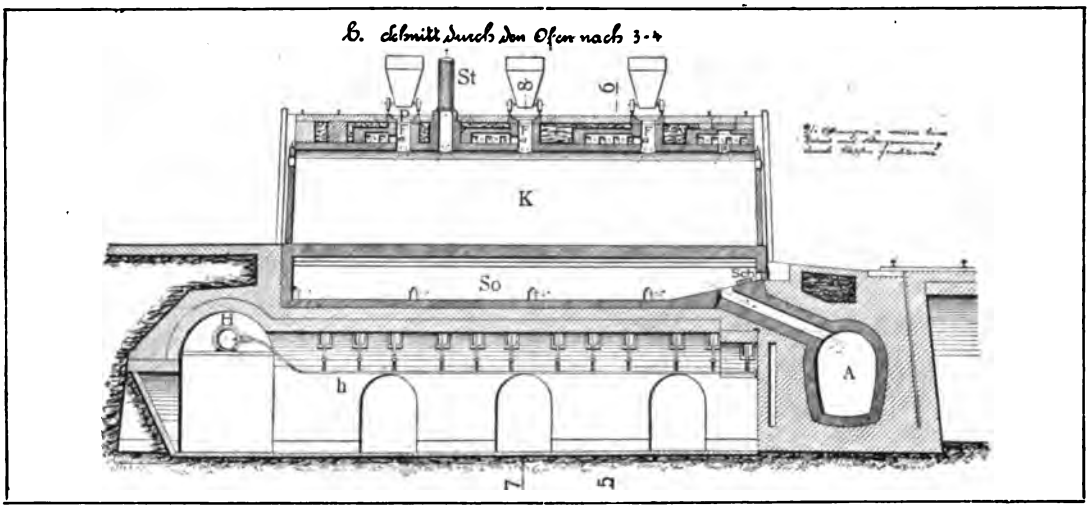


Abbildung 3b. **Hoffmann-Ottoscher Unterfeuerungsofen mit Nebenproduktengewinnung.**

Abbildungen veranschaulicht. Ein völliges Verständnis der Konstruktion dieser Koksöfen ist jedoch nur aus dem näher detaillierten Studium unter Zuhilfenahme weiterer Abbildungen, die Schnitte derselben nach verschiedenen Ebenen darstellen, möglich; doch würde dieses hier zu weit führen.

Man bezeichnet diejenigen Koksöfen, die auf Nebenproduktengewinnung arbeiten und bei denen die sogenannten Abgase (oder Abhitze) zum Heizen von Dampfkesseln verwandt werden, kurz als Abhitzeöfen im Gegensatz zu den Regenerativöfen, bei denen die Abhitze zur Luftvorwärmung dient.

Abhitze- und Regenerativöfen unterscheiden sich nur darin voneinander, daß die ersteren mittelbar eine Kraftquelle bilden (durch die Beheizung der Dampfkessel), während die letzteren Gase liefern, welche unmittelbar für motorische Zwecke (Gasmaschinen) dienen können.

Im wesentlichen arbeitet eine Destillationskokerei folgendermaßen: die Kohle wird in luftdicht abgeschlossenen Kammern aus feuerfestem Material, welche von außen beheizt werden, bei heller Rotglut der trockenen Destillation unterzogen. Entsprechend eingebaute Exhaustoren saugen die dabei entstehenden Gase zunächst nach Kühlvorrichtungen ab, woselbst sich die mitgeführten teerigen Produkte kondensieren, während Ammoniak und Benzol in darauffolgenden Waschapparaten absorbiert werden. Die so von den Nebenprodukten befreiten Gase kehren sodann zu den Destillationskammern zurück und liefern das Brennmaterial zur Beheizung derselben.

Einer der bewährtesten und, wie bemerkt, in Deutschland und Österreich besonders verbreiteten neueren Koksöfen, der Hoffmann-Ottosche Unterfeuerungsofen mit Nebenproduktengewinnung, ist in Abbildung 3a, b, c dargestellt. Zwecks günstigster Ausnutzung der Heizgase liegen hier bis zu 90 solcher Öfen, zu einer Batterie vereinigt, mit den Längswänden aneinander, so zwar, daß immer zwischen je zwei benachbarten Öfen (Destillationskammern) sich eine Heizkammer befindet; die Verbrennungsgase entweichen aus letzterer durch die Sohlkanäle in einen für alle Öfen gemeinschaftlichen Sammelkanal.

Abbildung 3a zeigt einen Längsschnitt durch die Heizwand, Abbildung 3b einen solchen durch die Kokskammer und Abbildung 3c einen Querschnitt durch drei be-

nachbarte Öfen. Das in den Öfen erzeugte und, wie oben erwähnt, gekühlte und gewaschene Gas gelangt durch Hauptrohr H und Nebenrohr h zu 12 regulierbaren Bunsenbrennern B, mit etwa 140 cm langen Mischrohren, welche in die Heizkammer hineinragen. Auch der Zutritt der um das Mischrohr aufsteigenden Sekundärluft ist durch eine dicht unter dem Gewölbe angebrachte drehbare Rosette genau zu regulieren. Die hauptsächlichste Wärmeentwicklung erfolgt in dem Verteilungskanal V, in welchem sich die Verbrennungsgase je dreier benachbarter Brenner vereinigen, und dieselben verteilen sich dann zwecks möglichst gleichmäßiger Beheizung der ganzen Ofenwand auf 7 Vertikalzüge, vereinigen sich hierauf oben wieder und gelangen durch den Fallkanal F nach unten und sodann seitlich in den Sohlkanal So. Sie durchstreichen denselben zusammen mit den Gasen der drei übrigen Abteilungen von links nach rechts und ziehen schließlich über den durch Schieberstein Sch verschließbaren Fuchs in den Abhitzekanal A. Zur Überwachung des Ganges der Feuerung dienen an der Außenwand des Ofens angebrachte Schaulöcher.

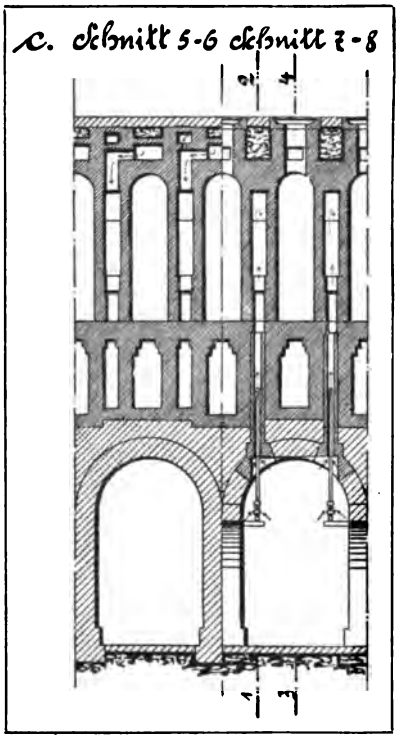


Abbildung 3c. Hoffmann-Ottoscher Unterfeuerungsofen mit Nebenproduktengewinnung.

Die Beschickung des Ofens erfolgt durch drei runde Füllschächte F, welche durch gußeiserne Platten O luftdicht verschließbar sind; die entstehenden Gase entweichen durch Steigrohr St in eine gemeinsame Vorlage, von welcher jeder einzelne Ofen durch Senken eines Tellerventils abgesperrt werden kann. Die Verschlußtüren der Kokskammern sind aus Eisen, mit feuerfesten Steinen ausgefüttert, und werden mittels einer oben angebrachten Öse durch fahrbare Handkabel auf und nieder bewegt. In der einen Tür ist ein mit Kapsel verschließbares Schauloch angebracht, in der anderen eine größere, durch eine kleine Tür absperrbare Öffnung, durch welche die eingefüllte Feinkohle auf maschinellem Wege planiert werden kann. Zur Erleichterung des Ausdrückens des garen Kokses, das durch die Koksausdrückmaschine bewerkstelligt wird, läuft der Ofen nach der Maschinenseite hin konisch zu.

In den oberen Teil des Ofens ist ferner eine Anheizvorrichtung eingebaut, welche beim Heißstochen sowie beim Betrieb ohne Gewinnung der Nebenprodukte in Tätigkeit tritt. Wie die Pfeile (→) in Abbildung 3a zeigen, entweichen die Gase dann nicht durch das Steigrohr, sondern durch die Füllschächte, gelangen hierauf in ein System von Horizontalkanälen, wo sie sich mit der von oben zugeführten Verbrennungsluft mischen, und treten dann entzündet durch Vertikalzüge in die seitliche Heizwand. Dabei werden die Schiebersteine Z, welche sonst auf einer Stufe im oberen Teil der Heizkammer ruhen, durch den Schlitz S auf einen der Verteilungspfeiler herabgesenkt; in dieser Stellung, welche in der Zeichnung punktiert angedeutet ist, nötigen sie die Gase, zuerst nach unten in den Verteilungskanal zu fallen, aus welchem sie dann wieder den gewöhnlichen Abzugsweg nehmen.

Abbildung 4 zeigt die photographische Ansicht einer Kokerei mit Nebenproduktengewinnung nach Otto.

Das Anheizen einer derartigen neuen Ofenbatterie geschieht zur Vermeidung von Rissebildung im Mauerwerk vorsichtig in der Weise, daß man in den Kokskammern zuerst bei schwach geöffneten Türen an beiden Enden ein mäßiges Feuer anzündet.

Abbildung 4. Ansicht einer Kokerei mit Nebenproduktengewinnung. (Nach Otto.)

Ist auf diese Weise das Mauerwerk genügend ausgetrocknet, so erfolgt nunmehr das sogenannte „Heißstochen", wobei die Türen bis auf einen schmalen Spalt zur Entfernung der Schlacke herabgelassen werden. Sobald sich dann nach Verlauf von etwa 10 Tagen die Öfen in heller Rotglut befinden, beginnt man nun mit dem Füllen

derselben, wobei man zur Vermeidung jeder Abkühlung vorerst zweckmäßig nur jeden dritten oder vierten Ofen und erst dann nach und nach die dazwischenliegenden beschickt. Nach einigen Tagen, sobald sich die ganze Batterie in regelrechtem Gange befindet, kann man dann zum normalen Betriebe mit Nebenproduktengewinnung übergehen.

Bei jedesmaligem Beschicken der Öfen wird die eingefüllte Kohle durch das Planierloch mittels der Planierstange gleichmäßig verteilt, jenes sodann geschlossen und nun durch Heben des Tellerventils des Steigrohres die Verbindung der Kammer mit der Vorlage hergestellt. Die Kammertüren müssen durch Verschmieren mit Lehm gut abgedichtet werden.

Um nun auch schwach backende Kohlen zur Kokserzeugung heranziehen zu können, wird nach dem Stampfverfahren die Feinkohle vor ihrem Einbringen in den Ofen in Blechkasten eingestampft. Diese sind entsprechend den Kokskammern dimensioniert, haben aufklappbare Wände und herausziehbaren Boden, und der gebildete Kohlenkuchen wird mittels der Ausdrückmaschine in die Kammer eingeschoben.

Eine Weiterentwicklung dieser Art von Öfen bilden die Koksöfen von H. Koppers (Essen) mit einkammerigen Zwischenwänden, Vertikalzügen und Unterbrennerheizung, wobei jeder einzelne Zug einen besonderen Brenner hat und für sich reguliert werden kann. Zur Vermeidung größerer Unkosten können dieselben auch auf vorhandenen Planofenfundamenten unter Benutzung des vorhandenen Abhitzekanals errichtet werden.

Auf Abbildung 5 ist ein derartiger Abhitze-Koksofen (System Koppers) dargestellt, wobei das wiederbenutzte Mauerwerk kreuzschraffiert ist. Direkt auf demselben ist der Gaszuführkanal a angeordnet, durch den das Heizgas den einzelnen Düsen b und von hier aus dem Heizzuge c zugeführt wird. Neben dem Gaskanal liegt unterhalb der Ofenkammer der Luftzufuhrkanal d, aus welchem die Verbrennungsluft durch die seitlichen Düsen e in die Mischdüse eines jeden Heizzuges tritt. Das Gas brennt in den Heizzügen nach oben, tritt in den oberen Horizontalkanal f und fällt in den letzten Zügen nach unten in den Abhitzekanal, der zu den Kesseln führt. Die Gasdüsen b sind durch dicht verschließbare Öffnungen g von oben zugänglich und herausnehmbar, und oberhalb eines jeden Heizzuges befindet sich ein Schieberchen h zur Regulierung und Einstellung der Beheizung, dessen Bedienung gleichfalls durch Öffnung g erfolgt. Der Horizontalkanal f liegt bei treibenden Kohlen in einer nicht beanspruchten Partie, bei nicht treibenden Kohlen wird er in der Wand angeordnet.

Je nach Art der Kohle sind bei diesem Ofen pro Tonne bis zu 100 m^3 Überschußgas erzielbar; wird auf die Menge desselben besonderer Wert gelegt, so kann der Ofen auch mit Luftvorwärmung ausgeführt werden. Durch Verminderung der Sohlenbeheizung ist der Koks von der Sohle bis oben herauf durchaus gleichmäßig groß, und ein Sinken der Fundamente und der Öfen ist, da ein Austrocknen des Bodengrundes nicht stattfinden kann, ausgeschlossen. Weiter ist dadurch auch die Temperatur in dem vor dem Ofen unterhalb des Koksplatzes liegenden Kanal nur wenig höher als die Außentemperatur.

Derartige Abhitzeöfen liefern nicht mehr als 18 % Überschußgas. Für die modernen Großgasmaschinenanlagen sind daher Regenerativöfen vorzuziehen, bei welchen die Abgase zur Luftvorwärmung verwendet werden. Diese liefern einen weit höheren Gasüberschuß, 45—55 % des gesamten Destillationsgases, welcher unmittelbar für motorische Zwecke verwendet werden kann.

Abbildung 6 zeigt einen Regenerativ-Koksofen (System Koppers). Die Öfen erheben sich auf einer Betonplatte als einzelne Wände, welche in halber Höhe derart

geschlossen sind, daß der untere Teil den Regenerator, der obere die Ofenkammer bildet. Diese Anordnung der Regeneratoren hat den Vorteil, daß große Gitterwerks-

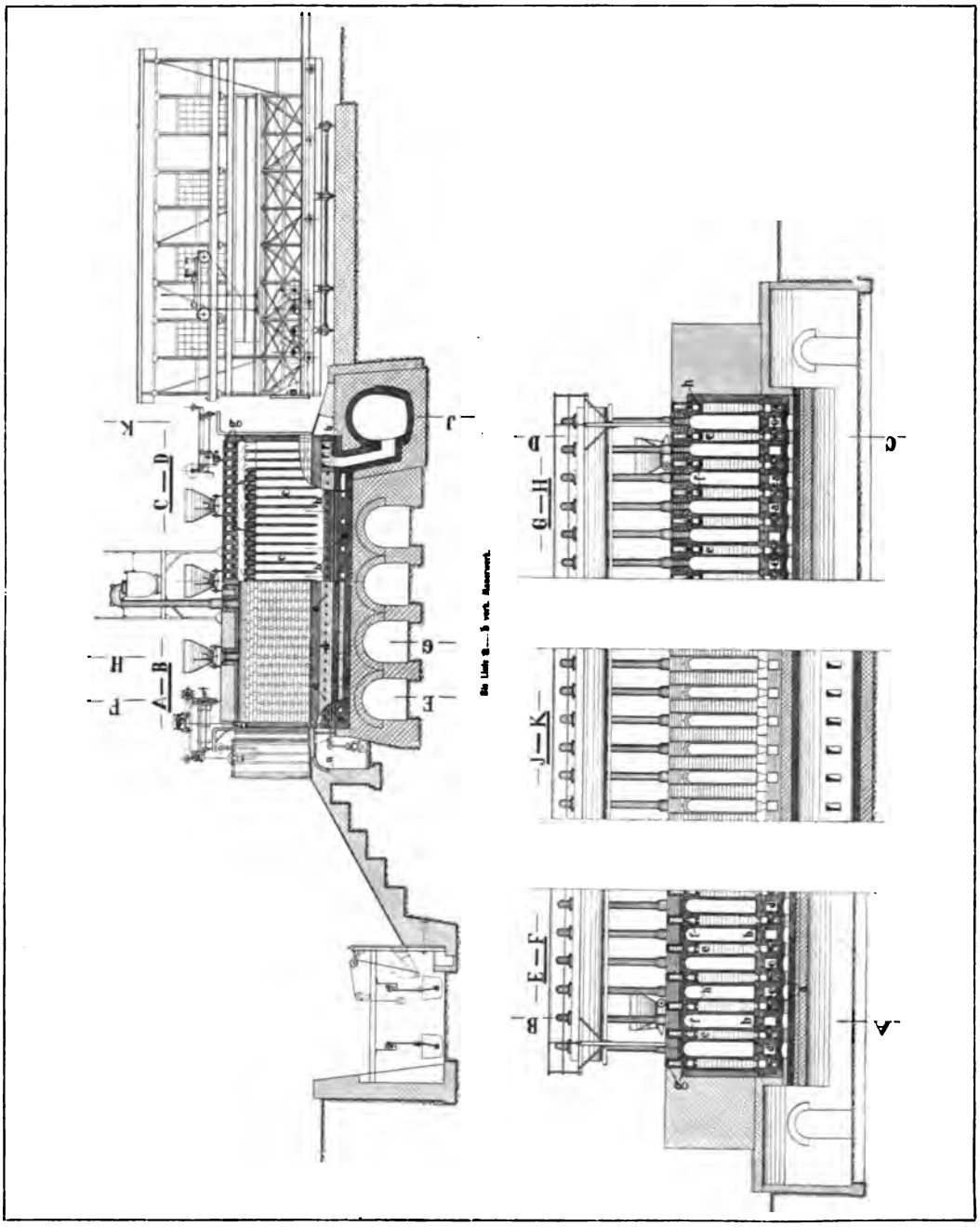


Abbildung 5. Abhitzekoksofen (System Koppers).

mengen auf verhältnismäßig kleinem Raum und so angebracht werden, daß zwei Drittel der Ofengrundfläche bebaut sind, die Ofensohle kalt bleibt und schädliche Strahlungsflächen gänzlich vermieden sind.

Die Verbrennungsluft tritt aus dem Kanal a in den Regenerator b durch den Kanal c ein, welcher durch Blechschieber d reguliert werden kann. Sie gelangt so-

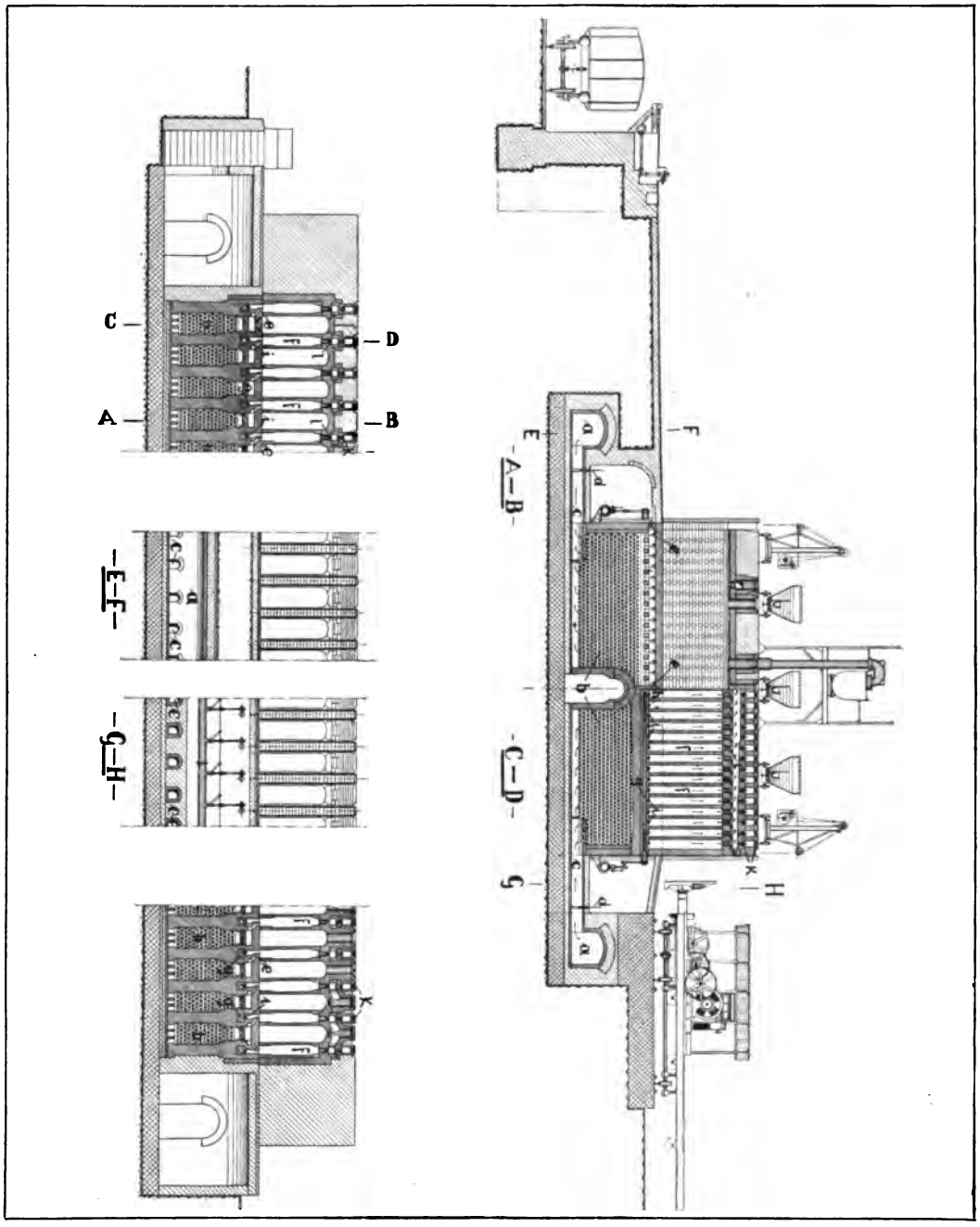


Abbildung 6. Regenerativkoksofen (System Koppers).

dann, auf etwa 1000—1050° vorgewärmt, durch die Öffnungen e in die senkrechten Heizzüge f und trifft in Ofensohlenhöhe mit dem Heizgas zusammen, welches durch Kanal g und Düsen i der Wand zugeführt wird. Da die Gas- und Luftzufuhr durch

die Wand h in zwei Hälften zerlegt wird, so brennt das Gas in der einen Hälfte der Heizzüge hoch und fällt, dem Kaminzuge folgend, in der anderen Hälfte der Züge nach unten. Die Abhitzegase treten auf dieser Seite durch die Öffnungen e in den Regenerator b, geben ihre Wärme an das Gitterwerk desselben ab und ziehen mit normaler Temperatur von 250—260° durch den Kamin ins Freie.

Die Umstellung der Verbrennung erfolgt jede halbe Stunde entweder von Hand oder automatisch derart, daß dabei kein Gas unbenutzt fortgeht. Zufolge der Größe der Regeneratoren und der Eigenart der Ofenkonstruktion bleibt innerhalb des ganzen Ofensystems trotz des Wechsels der Flammenrichtung die Temperatur beinahe konstant. Zwischen Ofen und Regenerator findet man bis zu 50° C während einer Wechselperiode als größtes Temperaturgefälle.

Die Düsen i sind durch die Durchbrüche k von oben zugänglich und auswechselbar; durch die gleichen Öffnungen werden auch die jeden einzelnen Heizzug abdeckenden Schieber l bedient, welche eine genaue Regulierung der Verbrennung gestatten.

DIE GEWINNUNG DER NEBENPRODUKTE. Die Steigrohre der einzelnen Öfen münden in eine gemeinsame Vorlage (Hydraulik); in dieser sowie in dem darauf folgenden Dickteerscheider kondensiert sich der sogenannte Dickteer. Hierauf wird das Gas zwecks möglichst vollständiger Abscheidung von Teer und Teerwasser durch eine Batterie von Luft- und Wasserkühlern geleitet. Erstere sind gewöhnlich Ringluftkühler, von den letzteren sind am meisten verbreitet die nach dem Gegenstromprinzip arbeitenden Röhrenwasserkühler mit vertikalen Röhren (Abbildung 7). Das die Röhren durchströmende Kühlwasser tritt von unten, das Gas von oben ein, und unten befindet sich der Ablauf für die Kondensate. Die letzten Reste von Teer werden in einem anschließenden Teerscheider entfernt.

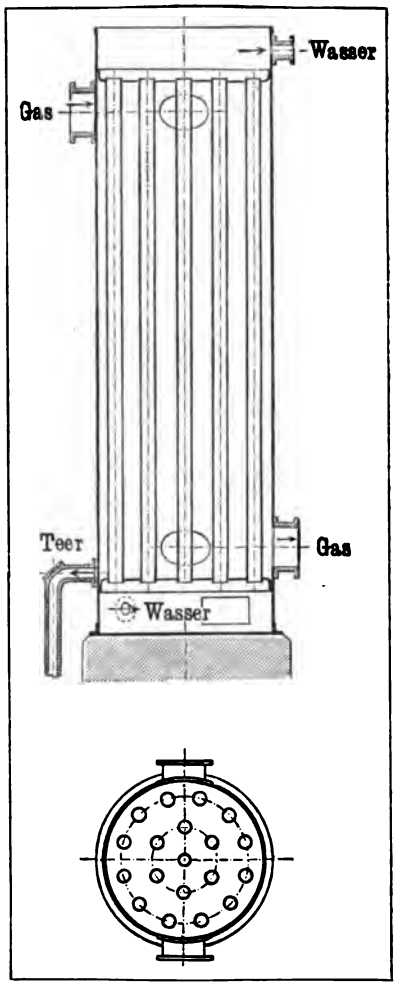


Abbildung 7. Röhrenwasserkühler.

Die aus dem Teerabscheider entweichenden Gase gelangen nun zu den Ammoniakwäschern (Abbildung 8), das sind 2½—3 m weite und 10—15 m hohe schmiedeiserne Zylinder mit kreuzweise übereinandergelagerten Holzhorden im Innern, über welche Wasser herabrieselt, während das Gas von unten eintritt. Zwecks vollständiger Absorption des Ammoniaks sind meist drei solche Wäscher hintereinander angeordnet, so zwar, daß der letzte mit frischem Wasser berieselt und dieses dann auf den zweiten und schließlich auf den ersten gepumpt wird; das ablaufende Wasser enthält dann rund 1 % Ammoniak und wird nun behufs Abtreibens desselben den Kolonnenapparaten zugeführt.

Die Konstruktion derselben ist eine ganz ähnliche wie bei der Spiritusfabrikation. Das Ammoniakwasser fließt oben kontinuierlich zu und rieselt, dem unten einströmenden Dampf entgegen, im Apparat herab, wodurch das freie Ammoniak zum

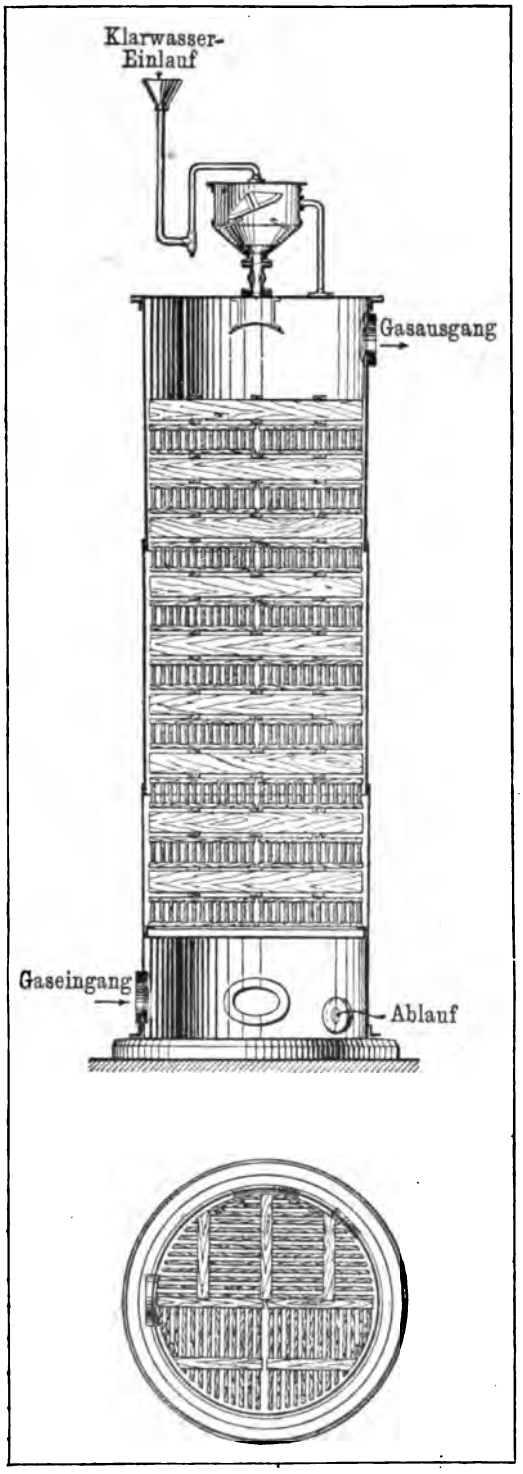


Abbildung 8. Ammoniakwäscher.

größten Teil daraus verflüchtigt wird. In den mittleren Teil der Kolonnen wird in regelmäßigen Zwischenräumen etwas Kalkmilch eingeführt, um auch das an Säuren gebundene Ammoniak zu gewinnen. Das abgetriebene Wasser mit einem Gehalt von höchstens 0,05 % NH_3 wird durch ein selbsttätiges Schwimmerventil abgeführt und dient dann noch zum Vorwärmen des rohen Ammoniakwassers, worauf es in Absatzgruben vom Kalkschlamm befreit wird. Das Ammoniakgas gelangt aus dem oberen Teil des Apparats durch einen Wasserabscheider in verbleite, mit Schwefelsäure von 42—45° Bé. beschickte Sättigungskästen, wo es absorbiert wird und sich allmählich als schwefelsaures Ammoniak ausscheidet. Dieses wird mit Krücken und Seihern auf eine verbleite Abtropfbühne geschafft, in Zentrifugen trocken geschleudert und mit einem Gehalt von etwa 25 % Ammoniak als Dungmittel verwendet.

Bei der Absorption des Ammoniaks durch die Schwefelsäure werden verschiedene Säuren (CO_2, H_2S, CNH usw.) frei; um dieselben zu entfernen, mündet das Gaszuleitungsrohr in eine bleierne Tauchglocke, aus deren oberen Teil sie über ein Scheidegefäß zur Befreiung von mitgerissener Schwefelsäure in die Rohgasleitung abgeführt werden.

Aus dem vom Ammoniak befreiten Gase werden schließlich auch noch die darin enthaltenen Mengen von Benzol in Gestalt von Rohbenzol gewonnen, und zwar durch Absorption desselben mittels eines anthrazenhaltigen Teeröls, welches bei der später zu besprechenden Teerfraktion als sogenanntes Mittelöl gewonnen wird.

Ein hierzu dienlicher Apparat ist in Abbildung 9 dargestellt. Das genannte als „Waschöl" bezeichnete Produkt wird aus A von Pumpe I durch die Ölkühler X auf den Hordenwäscher B befördert, läuft aus diesem in den Kessel b ab, wird sodann durch Pumpe II dem Wäscher D zugeführt, fließt aus diesem nach E und wird schließlich durch Pumpe III auf den Glockenwäscher F gedrückt, von welchem es nach G abfließt. Das gesättigte Öl wird sodann durch Pumpe IV in das Hoch-

reservoir H befördert und fließt aus diesem kontinuierlich durch den Wärmeaustauschapparat J und den Dampfvorwärmer K in den oberen Teil der Kolonne L ein, wo es durch entgegenströmenden Dampf vom Rohbenzol befreit wird. Das letztere geht durch einen Dephlegmator und den Kühler N in einen Sammelbehälter, während das abgetriebene Öl aus der Blase M durch den Wärmeaustauschapparat J zur Wiederbenutzung nach A zurückfließt.

Das Waschöl reichert sich hierbei allmählich mit Naphthalin und teerartigen Produkten an; sobald es bei der Destillation 20 % oder mehr Pech hinterläßt, ist es nicht mehr gebrauchsfähig („totes Waschöl") und muß dann durch Umdestillieren regeneriert werden.

Bemerkenswerte Fortschritte wurden in letzter Zeit bei der Gewinnung des Ammoniaks gemacht. Während nämlich bei dem im vorstehenden beschriebenen alten „Schöpfverfahren" eine indirekte Gewinnung des Sulfats stattfindet in der Weise, daß das Ammoniak aus dem Gase durch Wasser ausgewaschen, daraus abdestilliert und in Schwefelsäure eingeleitet wird, bezwecken die neueren Verfahren eine direkte Sulfatgewinnung derart, daß die ammoniakhaltigen Gase unmittelbar in ein Schwefelsäurebad von 32—33° Bé. eingeleitet werden. Bedingung für eine gedeihliche Durchführung dieses Vorganges ist erstens die vollkommene Abscheidung des Teers aus dem Gase vor dessen Berührung mit der Säure, und weiter muß man jede Verdünnung des Säurebades durch Niederschlagen von Wasser verhindern.

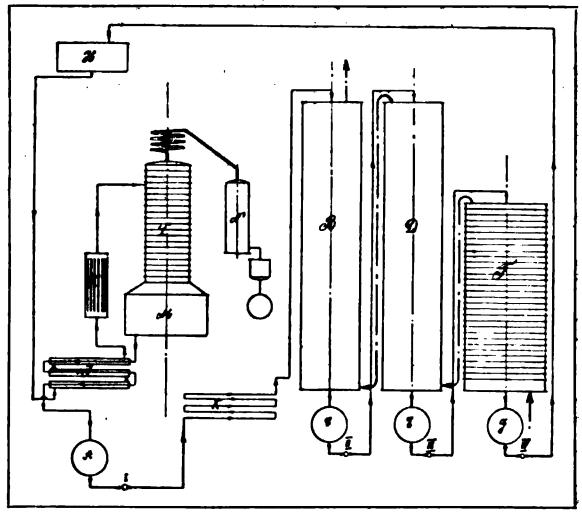


Abbildung 9. Anlage zur Gewinnung von Rohbenzol.

Nach dem Verfahren von Koppers wird daher das Gas zuerst zwecks Abscheidung des Teers und des gebundenen Ammoniaks gekühlt und dann vor Eintritt in das Säurebad durch Wärmeaustausch mit dem von den Öfen kommenden heißen Gase wieder auf etwa 50° C vorgewärmt. Das kondensierte gebundene Ammoniak wird in einem Abtreibeapparat durch Zusatz von Kalkmilch freigemacht und die Dämpfe wieder dem Rohgase beigemengt. Man erzielt auf diese Weise bei der nachfolgenden Absorption durch Schwefelsäure ein grobkristallinisches, rein weißes Salz mit einem Ammoniakgehalt bis zu 25,5 %.

Die Durchführung dieses Verfahrens ist aus Abbildung 10 ersichtlich. Das von den Öfen kommende Rohgas durchstreicht zuerst die Röhren des Wärmeaustauschers a, welcher nach Art der Röhrenkühler konstruiert ist, sodann zwei Wasserrohrkühler b und wird hierauf von dem Sauger e durch die Teerscheider d zurück zu dem Wärmeaustauscher a gedrückt, wo das von Teer vollständig befreite Gas erhitzt wird. Es tritt dann in überhitztem Zustande in den mit saurer Lauge gefüllten automatischen Sättigungskasten e, wo sich Sulfat bildet, das durch einen Injektor in die Zentrifuge f gehoben wird.

Die in a, b, c, d entstehenden Kondensate fließen in einen Scheidebehälter h, in welchem sich Teer und Gaswasser nach den spezifischen Gewichten trennen, so daß

ersterer nach i, letzteres nach j fließt. Von hier aus befördert eine Pumpe das Gaswasser nach dem Destillierapparat g, und die mit Ammoniak beladenen Wasserdämpfe werden ebenfalls dem automatischen Sättigungskasten zugeführt. Aus diesem gelangt dann das Gas, durchaus frei von Schwefelsäure, durch die Leitung k durch einen Schlußkühler in die Benzolwäscher; da es trocken in dieselben eintritt, ist die Benzolausbeute bei diesem Verfahren nach den Betriebsergebnissen einer Anlage in Mont Cenis eine wesentlich höhere.

Je nach der Zusammensetzung der verwendeten Kohle ist die Art und Menge der entstandenen Produkte eine sehr verschiedene. Im allgemeinen sinkt die Koksausbeute mit zunehmendem Sauerstoffgehalt jener und steigt damit die Ausbeute an Teer und Ammoniakwasser. Von nicht minderem Einflusse, besonders auf die Beschaffenheit der Destillationsprodukte, sind hierbei jedoch auch Destillationsdauer und -temperatur sowie auch Chargengröße, der während der Destillation herrschende Druck usw. Die Hauptaufgabe der Betriebsüberwachung liegt daher in der möglichst gleichmäßigen Einhaltung der für die betreffende Kohlensorte als günstig erkannten Bedingungen, namentlich in der stets gleichmäßigen Beheizung der Öfen und Regulierung des Zuges nach den Ergebnissen der ständig vorzunehmenden Rauchgasanalysen. Insbesondere ist dabei auch auf Störungen durch Verstopfen der Brennerdüsen und Mischrohre, durch zu großen Wassergehalt der Kohle usw. zu achten.

Die oft großen Differenzen in den Destillationsergebnissen bei Verwendung verschieden zusammengesetzter Kohlen ist aus den nachstehenden zwei Beispielen ersichtlich:*

	a)		b)	
Koks	75,43	Prozent	85,38	Prozent
Flüchtige Bestandteile	24,57	„	14,62	„
	100,00	Prozent	100,00	Prozent

Die letzteren bestehen aus:

Ammoniak	0,386	Prozent	0,341	Prozent
Teer	2,49	„	1,12	„
Wasser	6,21	„	2,57	„
Kohlensäure	1,46	„	0,67	„
Schwefelwasserstoff	0,31	„	0,20	„
Rohbenzol	1,27	„	0,54	„
Koksofengas	12,444	„	9,179	„
	24,57	Prozent	14,02	Prozent

Gasmenge bei 760 mm Druck und

0° trocken	in m³ pro Tonne Kohle	277,9	276,5
15° feucht		298,2	296,7

Zusammensetzung der Gase:

Schwere Kohlenwasserstoffe	4,6	Prozent	1,7	Prozent
Kohlenoxyd	7,1	„	3,9	„
Wasserstoff	51,4	„	65,3	„
Methan	34,7	„	26,8	„
Stickstoff	2,2	„	2,3	„
	100,0	Prozent	100,0	Prozent

* Siehe „Spilker usw.“, S. 23.

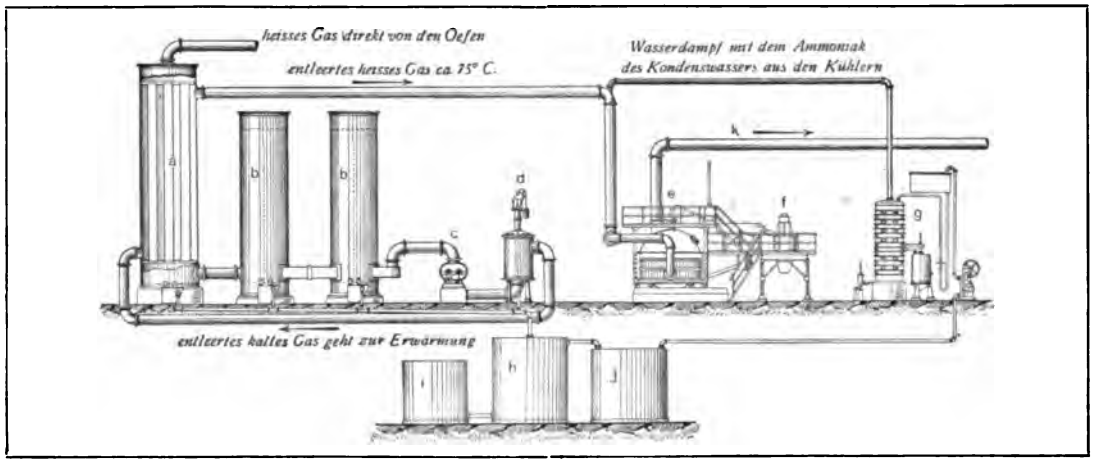


Abbildung 10. Verfahren zur direkten Sulfatgewinnung (Patent Koppers).

DIE DARSTELLUNG VON LEUCHTGAS. Unter Leuchtgas versteht man im allgemeinen ein mit unmittelbar leuchtender Flamme brennendes Gasgemisch, welches bei der trockenen Destillation von Steinkohle, Braunkohle, Torf, Ölen, Harzen, Teer- und Petroleumrückständen usw. entsteht. Im engeren Sinne jedoch bezeichnet man als Leuchtgas nur das durch Erhitzung der Steinkohle bei Luftabschluß erhaltene Gasgemisch. Die Produkte dieser trockenen Destillation läßt man zunächst möglichst durch Abkühlung (Luft- und Wasserkühlung) kondensieren, wobei sich die schwerer flüchtigen Bestandteile, als Teer, die ammoniakalischen Produkte, mit dem Wasserdampf schon zum Teil als Gas- oder Teerwasser abscheiden. Aus dem abgekühlten Gasgemisch wird hierauf das im Gas noch enthaltene Ammoniak durch Wasser ausgewaschen, jenes sodann noch weiter gereinigt, indem man es auf verschiedene Weise insbesondere von Schwefelwasserstoff und Zyanverbindungen befreit, und schließlich in großen eisernen Gasbehältern gesammelt. Aus diesen wird es unter einem gewissen Druck durch ein Rohrnetz den Konsumstellen zugeführt.

Da die unmittelbare Leuchtkraft des Gases wesentlich von bestimmten Kohlenwasserstoffen abhängt, welche aus gewissen Kohlen in größerer Menge durch Destillation entstehen, verwendete man in den früheren Dezennien für die Leuchtgasbereitung ganz besonders dazu qualifizierte Steinkohlen. Die beste Gaskohle war die englische, derzeit schon fast abgebaute Cannelkohle, welche auch in Norddeutschland viel verarbeitet wurde. Leuchtgas aus schottischer Bogheadkohle besitzt die doppelte Leuchtkraft desjenigen aus bester schlesischer Kohle. In Deutschland verarbeitet man westfälische, Saarbrücker, schlesische und sächsische Kohlen, von denen erstere das beste, letztere das geringwertigste Gas liefern. Die besten deutschen Kohlen gleichen an Güte ungefähr den geringen englischen Kohlen. Die beste Gaskohle Österreichs ist die Plattenkohle.

Bei der Leuchtgasbereitung aus Steinkohlen gewinnt man unter allen Umständen neben dem Gas den Steinkohlenteer, dessen Verkaufswert bedeutend größer ist, als es seinem Heizeffekt entspricht, sodann Ammoniakwasser und als Destillationsrückstand den Gaskoks, welcher jedoch, weil er nicht vollständig entgast und deshalb zuwenig dicht und fest ist, für hüttenmännische Zwecke nicht verwendbar ist. Dagegen erstreben die Kokereien in erster Linie die Gewinnung von gutem, festem Koks, wobei die Beschaffenheit des Gases und der anderen Produkte weniger in Betracht gezogen wird.

Der Unterschied zwischen beiden Methoden der Destillation ergibt sich daraus, daß, wie erwähnt, gutes Leuchtgas eine gewisse Menge kohlenstoffreicher, „schwerer" Kohlenwasserstoffe der Äthylen- und Benzolreihe (C_6H_6, C_2H_4, C_2H_2 usw.) enthalten muß, welche das Leuchten bewirken. Bei anhaltendem Erhitzen auf 1000° und darüber zerfallen nun diese in Kohlenstoff und Methan bzw. Wasserstoff, was daher in den Gasanstalten durch Verwendung von kleinen Retorten und rasche Abführung des gebildeten Gases nach Möglichkeit verhindert werden muß. In den Kokereien dagegen arbeitet man ohne Rücksicht auf diesen Zerfall, vielmehr unter Beförderung desselben durch Verwendung großer Öfen auf die Erzielung von mehr und dichterem Koks hin.

Von dem in der Kohle enthaltenen Stickstoff wird ein großer Teil in Form von Ammoniakverbindungen gewonnen, welche der Industrie und der Landwirtschaft zugeführt werden. Ein anderer Teil desselben wird in Gestalt von Zyanverbindungen bei der sogenannten trockenen Reinigung mit hydratischen Eisenoxyden oder bei der nassen Reinigung nach Buëb mit $FeSO_4$-Lösungen im Standardwäscher oder anderen Vorrichtungen in Form des sogenannten Zyanschlammes erhalten. Die auf diese Weise hergestellten Zyanverbindungen haben die nach dem alten Verfahren der Blutlaugensalz-Fabrikation erzeugten Produkte fast vollständig verdrängt, so daß diese Art ihrer Darstellung kaum mehr als rentabel betrachtet werden kann.

Ein Teil des Schwefels der Steinkohle wird hierbei ebenfalls in der Reinigungsmasse aufgespeichert und meistens (nach Verwertung derselben für Zyanverbindungen) durch Abrösten zur Erzeugung von SO_2 nutzbar gemacht. Voraussichtlich wird es bald gelingen, den Schwefel selbst ganz rein und frei von teerartigen Verbindungen zu gewinnen.

Die Menge und Zusammensetzung des Gases ist nicht nur von der Beschaffenheit des Rohstoffes, sondern auch von der Art des Erhitzens, der Temperatur usw. abhängig. Je höher die Temperatur, desto größer ist die Ausbeute, desto geringer aber die Leuchtkraft des Gases selbst. Auf die gleiche Menge von Kohle bezogen ist die Leuchtkraft allerdings bei höherer Temperatur etwas größer als bei niedrigerer. Nachdem bei der Destillation zuerst das Wasser verdampft und sauerstoffreiche Produkte sich entwickelt haben, destillieren dann die an schweren Kohlenwasserstoffen reichen Gase ab, während dagegen das andere Destillat ein an Wasserstoff reiches Gas von niederer Leuchtkraft darstellt.

Gegenwärtig, wo das Brennen in offener Flamme fast vollständig der Glühlichtbeleuchtung gewichen ist, braucht man auf den Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen im Leuchtgas keinen solchen Wert mehr zu legen, und man kann die Entgasung etwas weiter treiben als früher, da ja Wasserstoff und die leichten Kohlenwasserstoffe eine große Verbrennungswärme besitzen, auf welche es jetzt eben hauptsächlich ankommt.

Die Hauptbestandteile eines guten Leuchtgases sind in Volumprozenten etwa folgende:

	ungereinigt	gereinigt
Wasserstoff	46	49
Grubengas	32	34
Kohlenoxyd	8	8
Schwere Kohlenwasserstoffe	4	4
Schwefelwasserstoff	1	—
Ammoniak	1	—
Kohlensäure	4	1
Stickstoff	4	4
	100	100

Was die Menge des zu erzielenden Gases anbelangt, so erhielten zum Beispiel die Berliner städtischen Gasanstalten pro Tonne schlesischer Steinkohle im Jahre 1900/01 folgende Ausbeute:

156 kg	= 287 m³ Gas vom spezifischen Gewicht 0,42
685 „	Koks
50 „	Teer
80 „	Gaswasser (ohne Waschwasser)
29 „	Verluste
1000 kg	

Durch die Einführung der schrägliegenden oder vertikalen Retorten, der Kammeröfen, automatischer Chargier- und Entleerungsvorrichtungen, durch die Konzentration der Generatoranlagen für die Retortenheizung, Vergrößerung des Retortenraumes und andere in der Reinigung des Gases und der Gewinnung der Nebenprodukte gemachten Verbesserungen sind die Gestehungskosten des Steinkohlen-Retortengases erheblich erniedrigt worden.

In der Tat haben die Leuchtgasanstalten, welche bei den früheren hohen Gaspreisen ganz besonders günstige Resultate erzielten, auch jetzt noch, bei den niedrigeren Gaspreisen, ihre Prosperität bewahrt, und es kann noch derzeit auch bei den jetzigen Gaspreisen die Leuchtgasbereitung tatsächlich unter gewissen Umständen als die wirtschaftlich günstigste Art der Steinkohlenausnutzung angesehen werden.

DIE ERZEUGUNG DES ROHGASES. Die Destillation der Steinkohlen erfolgte früher in elliptischen oder zylindrischen Retorten, welche zuerst aus Gußeisen, später aus Schamotte hergestellt und gewöhnlich zu 5—9 in einen gemischten Ofen eingemauert wurden. Die anfangs direkte Befeuerung auf einem Roste wich der Heizung mit Generatorgas oder Luftkohlenoxydgas, welches in neben oder unter dem Retortenofen befindlichen Generatoren hergestellt wird. Man benutzt dazu einen Teil des gewonnenen Gaskokses und verwendet die abziehenden Feuergase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft (sekundären Luft), während das Generatorgas, durch Verbrennung des Kokses mit primärer Luft erzeugt, mit sehr heißer Flamme in die Retortenöfen gelangt. Eine derartige Feuerung mit Erwärmung der Verbrennungsluft allein nennt man eine Rekuperativfeuerung.

Man destilliert bei Temperaturen von 1200—1400°, also bei beginnender Weißglut. Das entwickelte Gas wird, um es möglichst rasch aus der Retorte zu entfernen und durch die verschiedenen Apparate hindurchzutreiben, mittels Exhaustoren verschiedener Konstruktion abgesaugt. Trotzdem ist jedoch eine teilweise Zersetzung der schweren Kohlenwasserstoffe und damit der Abscheidung eines sehr kohlenstoffreichen Produktes nicht zu vermeiden. Letzteres setzt sich größtenteils als sogenannter Retortengraphit* an den Innenwänden der Retorten ab, zum Teil übergeht es aber auch in Staubform in den Steinkohlenteer, welcher daher stets sogenannten freien Kohlenstoff enthält. Das zuletzt entweichende Gas besteht vorwiegend aus Wasserstoff.

Das bis vor kurzem in den Leuchtgasanstalten angewandte Ofensystem war das von Schilling und Bunte, als Münchener Ofen bekannt. Die Prinzipien dieser Konstruktion sind aus beifolgenden Abbildungen 11a, b, c ersichtlich. Die hinten geschlossenen Schamotteretorten A haben eiförmigen Querschnitt, sind etwa 3 m lang, 30—50 cm weit und meistens zu je 9 in horizontaler Lage in einen Ofen ein-

* Gibt nicht die für Graphit charakteristische Graphitsäurebildung.

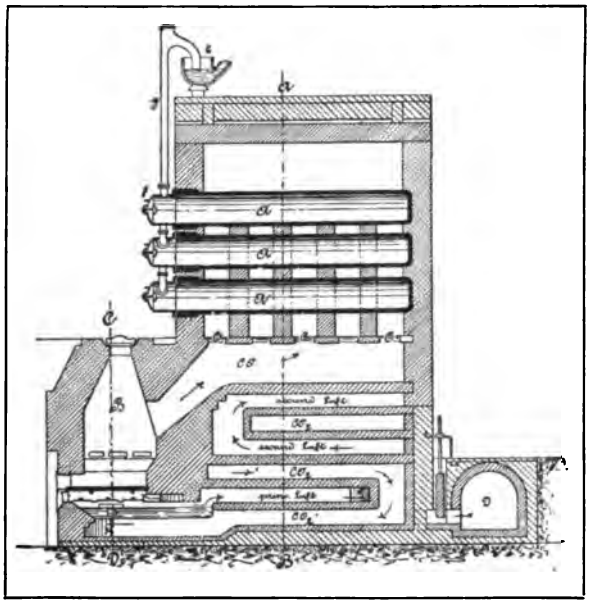


Abbildung 11a. Münchener Ofen. Längenschnitt.

gebaut. Der vordere Verschluß wird durch ein aufgekittetes gußeisernes Mundstück bewirkt, welches eine mit aufgeschliffenem Deckel versehene Beschickungstür trägt und mit einem Rohrstutzen für das Steigrohr g versehen ist. B ist der Generator-Gaserzeuger; das Heizgas gelangt aus diesem bei C in den Ofen und steigt, gemischt mit vorgewärmter Sekundärluft, in der Mitte desselben auf, fällt dann zu beiden Seiten nach abwärts und entweicht durch ein Kanalsystem, welches mit dem Kanal für die Sekundärluft parallel läuft, diese erwärmend, in den Rauchkanal D. Die vorgewärmte Primärluft streicht über einen unter dem Gaserzeuger angeordneten Wasserbehälter, sich so mit Wasserdampf sättigend, wodurch jener abgekühlt und geschont und gleichzeitig auch etwas Wassergas gebildet wird.

Nach beendeter Destillation wird das Mundstück der Retorten geöffnet, der Koks entleert, mit Wasser abgelöscht und sogleich frische Kohle eingefüllt. Manchmal stehen auch Retorten von doppelter Länge in Verwendung, welche an beiden Enden Öffnungen besitzen und doppelseitig bedient werden. Das Beschicken mit Kohle erfolgt entweder durch Einwerfen von Hand oder mittels eigener Lademaschinen, welche vor den Öfen hin und her fahren. Die Retorten halten bei ununterbrochenem Betriebe etwa ein Jahr lang.

Abbildung 12 zeigt einen Ofen mit schrägliegenden Retorten nach Coze. Die Beschickung derselben erfolgt durch Muldenwagen, deren Inhalt in einen oben angesetzten gußeisernen Krümmer entleert wird, während der gare Koks bei einem Neigungswinkel der Retorten von 32—33° nach Öffnen des unteren Verschlußdeckels selbsttätig herausrutscht. Da beim Abziehen des Gases am oberen Retortenende Teerverkokung und Verstopfung der Steigrohre nicht zu vermeiden war, wurden letztere am unteren Ende derselben angebracht.

Zufolge der vielfachen Vorteile gegenüber den Öfen mit wagerechtliegenden Retorten verschaffte sich diese Konstruktion besonders in der von Hasse und Didier abgeänderten Form vielfache Verbreitung.

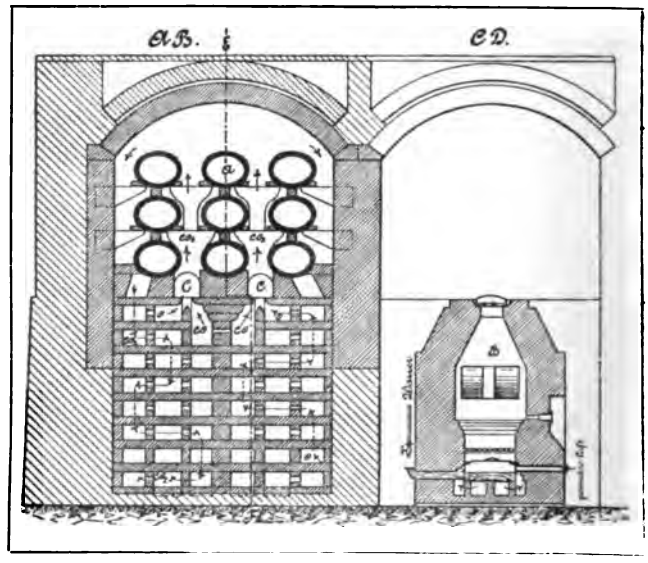


Abbildung 11b. Münchener Ofen. Querschnitt.

Nach dem Verfahren der Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft (D. R. P. 167367) erzielt man ein naphthalinarmes Leuchtgas bei gleichzeitiger Gewinnung von hochwertigem Koks sowie von Teer in Form eines kohlenstoffarmen, leichtflüssigen braunen Öles. Zu diesem Zwecke erfolgt die Entgasung der Kohle in stehenden, nach oben verjüngten Retorten, welche höher als sonst üblich, nämlich auf 1300—1500° C erhitzt werden, und dieselben sind unter Vermeidung eines die Teerabscheidung nach unten ermöglichenden freien Raumes vollständig mit Kohle gefüllt.

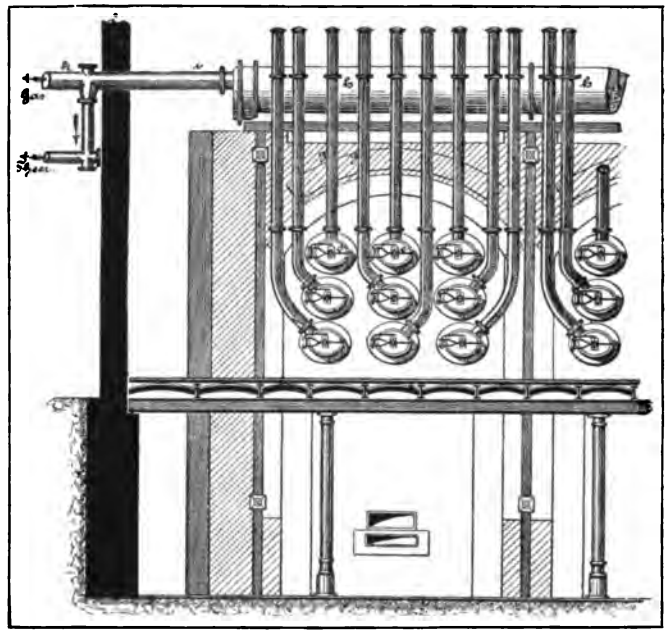


Abbildung 11c. Münchener Ofen. Vorderansicht.

In dem Erhitzungsraume dieses Vertikalofens (Abbildung 13a, b) stehen 10 Retorten von je 4 m Höhe, zwischen welchen sich zur Leitung der Feuergase Schamottezungen befinden. Die Heizgase strömen aus dem vor dem Ofen angeordneten Generator in jenen ein und erzeugen somit bei ihrer Verbrennung die höchste Temperatur gerade an der weitesten Stelle der Retorten,

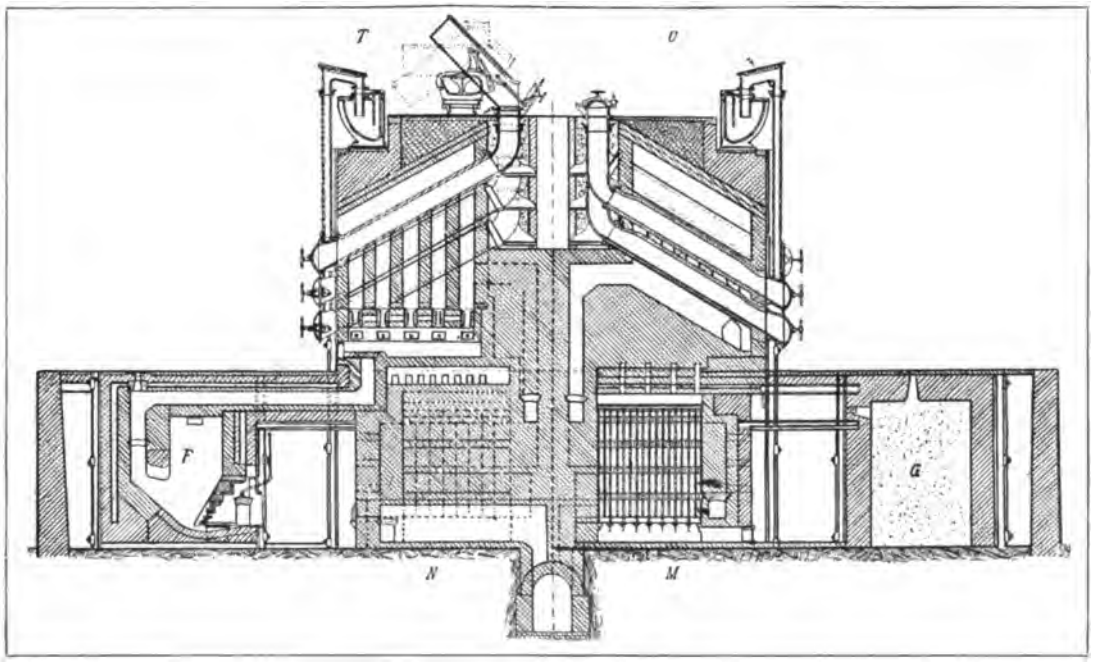


Abbildung 12. Ofen mit schrägliegenden Retorten. (Nach Coze.)

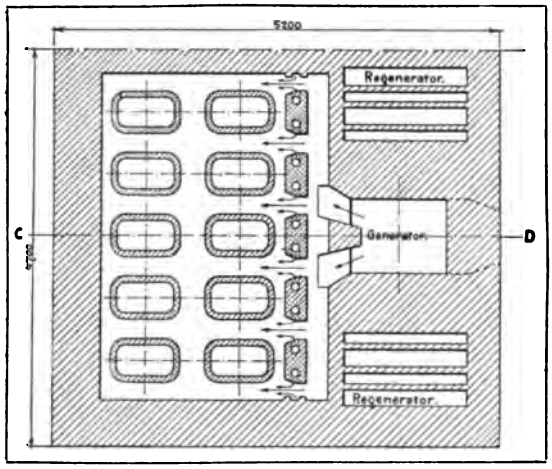


Abbildung 13a. Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft.

wo die meiste Wärme gebraucht wird. Sie bestreichen sodann die Retorten im Zickzack und steigen so bis zur Spitze des Ofens, durchziehen hierauf die zu beiden Seiten des Generators liegenden Luftvorwärmer von oben nach unten, wobei sie ihre Wärme an die Verbrennungsluft abgeben, und gelangen schließlich durch den Fuchs in den Kamin.

Über dem Ofen befinden sich Hängebahnwagen, aus welchen die in Kohlebrechern zerkleinerte Kohle in abgewogenen Mengen von 500—550 kg in die Retorten eingelassen wird; je nach ihrer Art bedarf sie zur Garung 8—10 Stunden. Die Öffnung des Bodenverschlusses zur Entleerung des Kokses wird für alle Retorten von einer an der Außenseite des Ofens befindlichen Zentralstelle aus durch einen Arbeiter bewirkt. Das Rohgas gelangt aus den Retorten durch seitlich an die oberen Mundstücke angesetzte Rohre in die Teervorlage, welche sich auf der vom Generator abgewandten Seite des Ofens befindet.

Die Vorzüge dieses Ofens bestehen nach Körting in folgendem:

1. Hohe Gasausbeute bei minimaler Retortenhaus-Grundfläche.
2. Hohe Gasausbeute pro Tonne Kohle ohne Qualitätsverminderung.
3. Hohe Gasausbeute pro Retorte und Tag.
4. Das Gas ist sehr naphthalinarm, fast naphthalinfrei.
5. Das Gas enthält 50% mehr Ammoniak.
6. Der Teer ist ganz dünn und reich an wertvollen Ölen.
7. Es gibt keine Steigrohr- und Vorlagenverstopfungen mehr.
8. Es gibt kein Graphitausbrennen aus den Retorten mehr.
9. Die Retortenhausarbeit ist selbst im Vergleich zu den Cozeöfen ganz wesentlich vermindert und beschränkt sich auf einige Handgriffe. Die Retorten brauchen nur alle 10 bis 12 Stunden beschickt zu werden.
10. Der Koks ist hervorragend großstückig und hart, selbst aus Kohle, die sonst minderwertige Ware liefert (Saarkohle).

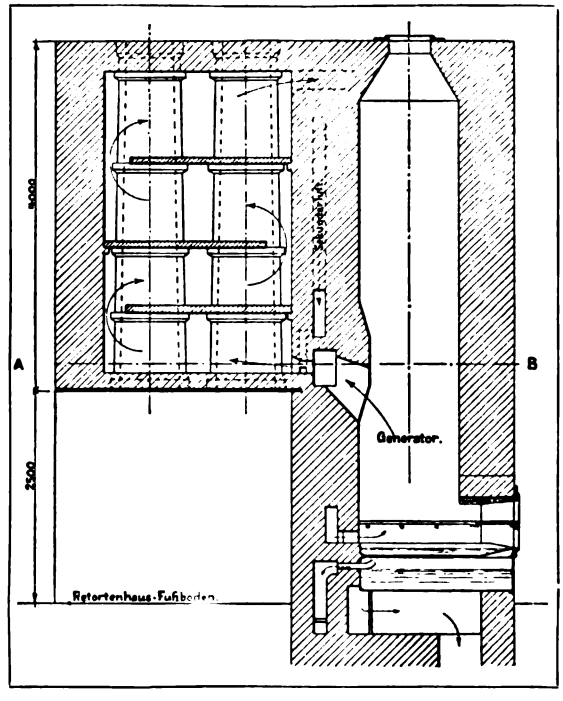


Abbildung 13b. Dessauer Vertikalofen-Gesellschaft.

Der kontinuierlich betriebene Ofen von Settle und Padfield (D.R.P. 152142)

stellt eine Vereinigung der senkrechten mit der schrägen Retorte dar, indem seine Retorten (Abbildung 14) unten um etwa 30° seitwärts gebogen sind. Der auf dem oberen Mundstück angebrachte Fülltrichter ist mit dem Retorteninnern durch einen Zylinder verbunden, in welchem sich eine Stange mit zwei konischen Kolben derart auf und ab bewegt, daß die Kohle bei dauernd gasdichtem Abschluß der Retorte gegen den Fülltrichter im höchsten Stand in den Raum zwischen den beiden Kolben fällt und beim Niedergang in die Retorte entleert wird. Die jedesmalige Ladung beträgt 2,7 kg und erfolgt ungefähr einmal pro Minute, während der Koks alle zwei Stunden in Mengen von etwa 30 kg abgezogen wird. Charakteristisch für dieses Verfahren ist ferner auch der in der Retorte über der Kohlenschicht befindliche leere Raum.

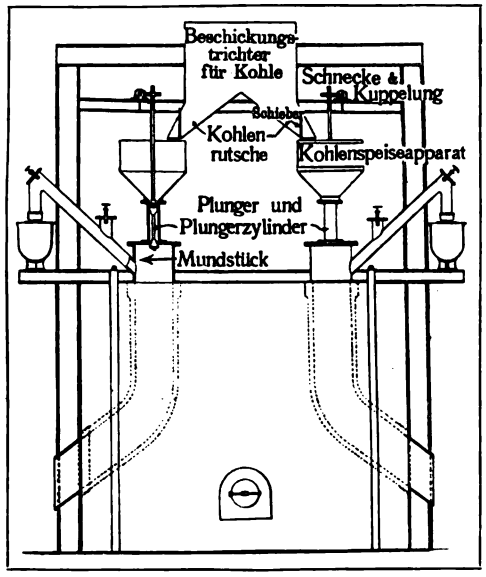


Abbildung 14. Kontinuierlich betriebener Ofen von Settle und Padfield.

Die Form des Koksofens ist, wie schon erwähnt, für die Gewinnung von Leuchtgas nicht günstig; dennoch wurden auch bereits Koksofengase für Leuchtzwecke verwendet. Die entsprechenden Versuche wurden speziell von Scheinwindt auf der großen, 400 Öfen fassenden Anlage in Everett bei Boston gemacht und führten zu dem Resultat, daß man die während der ersten 14 Stunden der Verkokung übergehenden Fraktionen („Reichgas") ganz gut für Leuchtzwecke verwenden kann, während die später entweichenden Anteile („Armgas") zur Ofenheizung, also zur Durchführung des Prozesses selbst, verwendet werden.

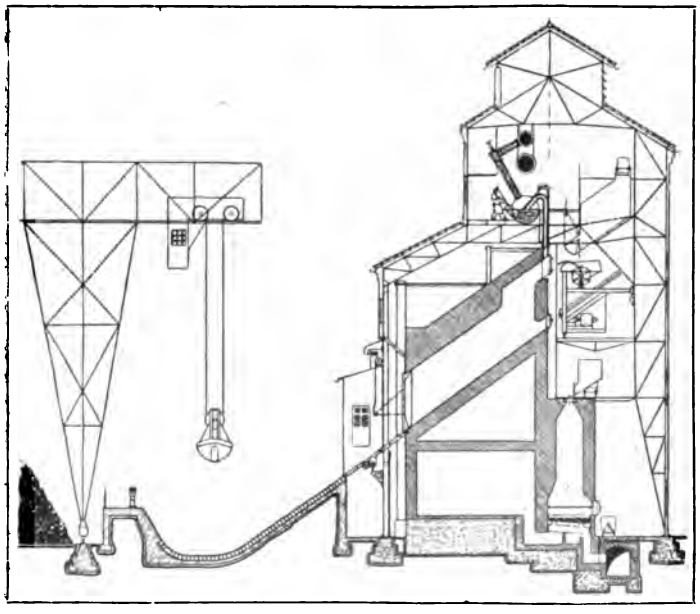


Abbildung 15. Kammerofen von Ries.

Das Reichgas wird wie gewöhnliches Leuchtgas behandelt; es wird gekühlt, von Teer befreit, zwecks Ammoniakgewinnung gewaschen und von Schwefel, Zyan und Kohlensäure mittels Eisenoxydhydrat und Kalk gereinigt. Dem Armgas dagegen wird nur Ammoniak und Benzol entzogen, alsdann geht es wieder zur Heizung der Öfen zurück; das Benzol wird aufgestapelt und, besonders im Winter, zu Karburationszwecken verwendet.

Diese Ergebnisse führten nun weiter dazu, die Leuchtgaserzeugung selbst in gemauerten Räumen, in den sogenannten Kammeröfen, durchzuführen.

Ein derartiger Kammerofen von Ries wird in Abbildung 15 dargestellt. In jedem Ofen sind, auf der Regeneration ruhend, 3 Kammern eingebaut, welche einen Fassungsraum von je 2200 kg Kohle haben und zwecks selbsttätiger Beschickung und Entleerung einen Neigungswinkel von 35° besitzen. Die Brenner befinden sich zwischen den Sohlen der Kammern, und die zwischen letzteren liegenden Feuerzüge ziehen teils über die Kammerdecken hinweg, teils nach den Rückwänden der Kammern hin und fallen auf der anderen Kammerseite zur Regeneration ab.

Die Füllung erfolgt aus Bunkern in die obere kleine Öffnung der Kammern, und der nach Öffnen der großen Vordertür ausrutschende Koks wird in der Grube abgelöscht und dann zuerst von Hand mittels Karren, später maschinell weiterbefördert. Das Entleeren und Füllen einer Kammer geht fast ohne Rauchbelästigung oder Flammenbildung in drei Minuten vor sich, und zur Bedienung von 10—12 Öfen sind bei achtstündiger Arbeitszeit nur je vier Mann erforderlich. Die Vergasungsdauer beträgt bei einer mittleren Temperatur von 1250—1300° in den Feuerzügen 24 Stunden.

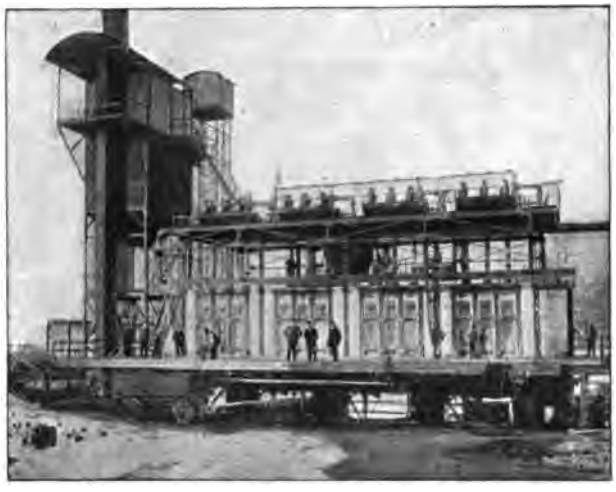


Abbildung 16. Horizontalkammerofen, System Koppers.

Abbildung 16 zeigt einen Horizontal-Kammerofen nach System Koppers, bestehend aus 4 Öfen a 3 Kammern; deren äußere Länge beträgt 5 m, die nutzbare Länge 4,11 m, die mittlere lichte Weite 0,45 m und die Kohlenfüllhöhe 2,5 m, der Fassungsraum pro Kammer 3800 kg und die Destillationsdauer 24 Stunden, wobei von einem solchen Dreikammerofen leicht 3500 m^3 Gas pro Tag erzeugt werden können.

Die Horizontalöfen bedürfen zu ihrer Entleerung einer Ausstoßmaschine, welche einen bestimmten Raum zu ihrer Bewegung nötig hat. An allen Stellen, wo es darauf ankommt, auf einer gegebenen Fläche eine Höchstleistung zu erzielen, ist der Kammerofen mit schräger Sohle am Platze. Derselbe bietet vor dem Horizontalofen nachstehende Vorteile: Auf derselben horizontalen Fläche ist infolge der größeren Länge der geneigten Sohle eine größere Produktion möglich. Die geneigte Sohle ermöglicht, genau wie bei den Schrägretortenöfen, die Entleerung der Kammer durch das eigene Gewicht des Kokskuchens. Nach Öffnen der Vordertür, was in ein bis zwei Sekunden erfolgen muß, damit der rutschende Kokskuchen nicht gegen die Tür anstößt, gleitet der Kokskuchen auf einer geneigten Ebene, welche mit eisernen Platten abgedeckt ist, in eine Rinne, wo er abgelöscht und durch mechanische Hilfsmittel zur Aufbereitung transportiert wird. Die Füllung einer Kammer von etwa 8—10 t Fassungsraum erfordert 6—8 Minuten und geschieht durch das obere Fülloch, welches an der Rückseite der Kammer angebracht ist. Gleichfalls an dieser Rückseite befindet sich eine Öffnung, durch welche man dem Kokskuchen einen Anstoß durch eine Zahnstange geben kann, falls derselbe sich in der Kammer aufgehängt haben sollte. Bei richtiger Wahl der Neigung der Sohle kommt diese Antriebsvorrichtung niemals zur Anwendung. Für jede Kammer ist ein besonderer Kohlenbehälter angeordnet, aus

dem die Kohle auf einer Rutsche in die Kammer eintreten kann. Das Heben der Türen geschieht durch eine Hebemaschine, an welcher die Tür der zu entleerenden Kammer angehängt wird. Das Heben dauert, wie schon oben gesagt, eine Sekunde, und in demselben Augenblick rutscht der Kokskuchen auf der Ebene abwärts.

Abbildung 17 stellt die Anlage für Wien dar. Für diese Anlage wird das Kohlenoxydgas in Zentralgeneratoren erzeugt und strömt unter Druck den Verwendungsstellen zu. Eine solche Zentralgeneratorenanlage war unbedingt erforderlich, weil die zur Vergasung kommende Ostrauer Kohle einen Koks ergibt, der sehr reich an Flugasche ist, welche zu Schmelzungen in den Heizkanälen Veranlassung gibt und die Regeneratorkanäle stark verstopft. Dadurch, daß nur reines Kohlenoxydgas zu den Brennstellen gelangt, ist eine Verlegung derselben und der Regeneratoren ausgeschlossen. Jede Kammer faßt 8 t Kohle und hat eine Garungsdauer von 24 Stunden. Wie schon vorher geschildert, sind die Kopper-

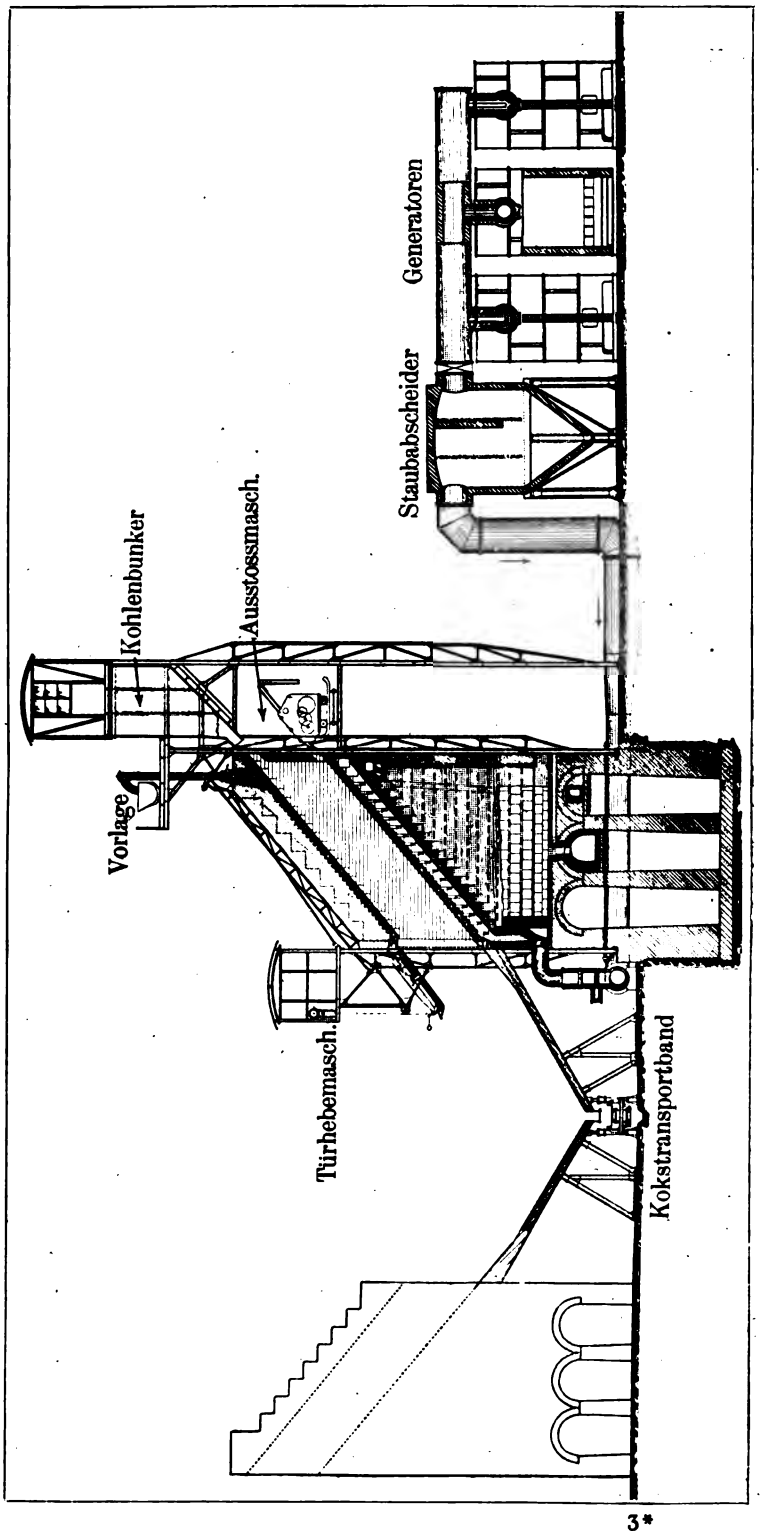


Abbildung 17. Horizontal-Kammerofen (System Koppers). Anlage für Wien.

schen Regulierеinrichtungen auch bei dem Schrägkammerofen in Anwendung gekommen, und die jetzt im Betrieb befindlichen Anlagen in Bochum und Wien haben gezeigt, daß eine vollständig gleichmäßige Beheizung der 10 m langen Kammer stattfindet. Auch die Köpfe des Kokskuchens bei den Türen sind vollständig ausgegast, es bildet sich an denselben kein Teer, und besondere Teerabflußrinnen sind nicht nötig.

Beide Systeme,* sowohl der vorher beschriebene Horizontalkammerofen als auch der Schrägkammerofen, haben ihre Berechtigung und Vorteile; ersterer stellt sich im Bau bedeutend billiger als der Schrägkammerofen, gebraucht pro Einheit jedoch einen größeren Raum. Der Horizontalofen ist überall am Platze, wo man über genügend Raum verfügt, die Mittel zur Bebauung aber beschränkt sind. Der Schrägkammerofen ist dort geeignet, wo der Platz beengt ist und man erhebliche Mittel aufwenden muß, um eine bestimmte Leistung auf einem bestimmten Platze zu erzielen. Es kann daher niemals von vornherein gesagt werden, welches System sich für den betreffenden Zweck eignet, sondern es bedarf dazu einer Gegenüberstellung der Kosten und der Platzfrage beider Systeme.

Auf alle Fälle bedeutet die Einführung des Großraumofens in die Gasindustrie einen sehr erheblichen Fortschritt, welcher kurz gekennzeichnet werden soll.

1. Durch den großen Fassungsraum der Öfen und die längere Garungsdauer wird die Arbeitszeit verkürzt.
2. Der Koks wird härter und vielseitig verwendbar.
3. Bei gleichmäßiger Beheizung der Wände und Vermeidung der Überhitzung des Gases erhält man besseres Gas, leichtflüssigen wertvollen Teer, mehr Ammoniak als bei der Destillation in der Retorte.
4. In der Wahl der Kohlensorte wird man unabhängiger. Eine gute Gaskohle wird selbstverständlich immer das beste Rohmaterial bilden; eine backende Fettkohle ist aber ebenfalls verwendbar, die in der Retorte bei der dort herrschenden Überhitzung ein minderwertiges Gas ergeben müßte.
5. Der Ofen ist haltbarer als jeder andere Ofen, wenn die Konstruktion eine gleichmäßige Beheizung gewährleistet. Das geringe Temperaturgefälle zwischen Sohle und Abgaskanal verleiht dem Ofen lange Dauer. Die Einfachheit des Ofens, seine Einrichtung auf einem gemauerten Fundament sind Vorzüge, die der Fachmann wohl zu würdigen weiß.

DIE REINIGUNG DES ROHGASES. Die bei der Destillation der Steinkohlen gebildeten Produkte entweichen durch die Steigrohre der Retorten in eine über den ganzen Ofen hinweggehende Vorlage, Hydraulik genannt, in welcher sich die hochsiedenden Bestandteile zu einem dicken Teer verdichten, welcher dann die einzelnen Retorten hydraulisch von der Hauptleitung abschließt.

Die aus der Hydraulik abziehenden Gase werden sodann entsprechend gekühlt, zuerst bloß in einem Rohrsystem (Luftkühler), dann durch indirekte Berührung mit Wasser (Wasserkühler), und ist dieser Vorgang ganz ähnlich wie der bei der Kokerei beschriebene. In beiden Kühlersystemen kondensiert sich die Hauptmenge des noch vorhandenen Teers und ein Teil der Ammoniakverbindungen als Gaswasser; beides fließt aus den einzelnen Apparaten in Sammelbehälter ab. Nach weiterer endgültiger Entteerung durch eigene Teerscheider gelangt das Gas sodann in die Wäscher oder

* Siehe A. Peters in „Zeitschrift der Gas- und Wasserfachmänner in Österreich-Ungarn", 1908; Sonderabdruck: „Vergleich einiger Ofensysteme."

Skrubber, in welchen es in unmittelbare und möglichst innige Berührung mit Wasser kommt. Hierdurch wird das Ammoniak fast vollständig absorbiert, außerdem Kohlensäure, etwas Schwefelwasserstoff sowie Zyan- und Rhodanwasserstoff; das so resultierende Produkt bildet die Hauptmenge des sogenannten Gaswassers.

Was die Konstruktion dieser Skrubber anbelangt, sind dieselben entweder so beschaffen wie die bei der Kokerei beschriebenen, oder aber es sind liegende Wäscher, welche durch senkrechte Wände in zahlreiche Abteilungen geteilt und zur Hälfte mit Wasser gefüllt sind. Die um eine horizontale Achse rotierenden parallelen Scheidewände aus Eisenblech sind stets befeuchtet und verspritzen bei ihrer Bewegung Wasser, wodurch eine kräftige Absorptionswirkung erzielt wird. Noch besser sind Kolonnenapparate nach Art der Spirituskolonnen, in welchen das ammoniakhaltige Gas dem feinverteilt herabfließenden Wasser entgegenströmt.

Da der Druck in den Retorten nicht mehr als der äußere Luftdruck betragen soll, ist — meist hinter den Wäschern — ein Exhaustor angeordnet, welcher das Gas durch die weiteren Reinigungsapparate hindurch zum Gasbehälter befördert. Auch von diesen stehen verschiedene Konstruktionen in Verwendung, so der Exhaustor von Beale, Flügelexhaustoren (Glockenexhaustoren), Dampfstrahlexhaustoren nach Körting usw.

Das Gas gelangt sodann zur sogenannten trockenen Reinigung, welche die Aufgabe hat, gewisse bisher nur unvollkommen entfernte Verunreinigungen, nämlich Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Zyan- und Rhodanwasserstoff, vollständig zu beseitigen.

Hierzu wurde zuerst von Clegg Kalkmilch, später fester Ätzkalk angewendet, jedoch mit ungenügendem Erfolge. Hierauf stand längere Zeit die Lamingsche Masse in Gebrauch, dargestellt aus Eisenvitriol, Kalk und einem Auflockerungsmittel. Derzeit benutzt man jedoch für diesen Zweck zumeist natürlichen Raseneisenstein, welcher im wesentlichen hydratisches Eisenoxyd enthält, oder die sogenannte Luxsche Masse, d. h. alkalihaltige, hauptsächlich aus Eisenoxyd bestehende Rückstände von der Bauxitverarbeitung.

Die Reinigungsmasse wird in übereinanderliegenden Hürden aus Holzlatten aufgeschichtet, welche sich in Kasten befinden, deren Deckel in eine Wasserrinne eintaucht; mehrere solcher Kasten sind miteinander verbunden. Beim Durchleiten des Gases durch dieses System wird der erste Kasten am frühesten erschöpft, sodann ausgeschaltet und hierauf das Gas in den zweiten Kasten einströmen lassen, während der erste wieder frisch mit Reinigungsmasse beschickt wird usw. Hierbei gestattet eine sinnreiche Vorrichtung, der Cleggsche Wechsel, die Ein- und Ausschaltung eines jeden beliebigen Reinigers.

Von dem Eisenhydroxyd der Reinigungsmasse wird bei Gegenwart von etwas Ammoniak der Schwefelwasserstoff des Gases unter Bildung von Eisensulfid Fe_2S_3 beziehungsweise $2FeS+S$ vollständig absorbiert. Die Regeneration der damit angereicherten Masse erfolgt durch Anfeuchten und Luftzutritt, wobei sich unter Abscheidung von Schwefel hydratisches Eisenoxyd rückbildet ($Fe_2S_3 + 3O + aqu. = Fe_2O_3 + x H_2O + 3S$) und dadurch die Masse wieder verwendbar wird.

Mit dem entstehenden Schwefeleisen setzt sich weiter der in einer Menge von etwa 0,2 Vol. % vorhandene Zyanwasserstoff zu Eisenzyanür-Zyanid (Berlinerblau) um; daneben entsteht bei Gegenwart von Ammoniak auch noch Rhodanammonium $(NH_4)CNS$. Die Reinigungsmasse kann nach erfolgter Regeneration wiederholt weiter verwendet werden, bis sie schließlich durch Anhäufung der Absorptionsprodukte aus-

gebraucht erscheint. Sie enthält dann 35—50 % Schwefel und 10—15 % Zyanverbindungen (vorzugsweise Berlinerblau) und wird nunmehr als im Werte hochstehendes Nebenprodukt verkauft.

Zur Entfernung des Schwefelkohlenstoffes werden je eine oder mehrere Hürden dieser trockenen Reiniger mit gelöschtem Kalk beschickt. Aus diesem entsteht durch den anwesenden Schwefelwasserstoff zunächst Kalziumsulfohydrat und weiter durch den Schwefelkohlenstoff Sulfokarbonat $CaCS_3$.

Bei dem bisher beschriebenen Vorgange der Reinigung des Rohgases wird insbesondere das Naphthalin nicht vollständig entfernt, was, namentlich im Winter, durch Abscheidung desselben in fester Form Anlaß zu unliebsamen Verstopfungen der Rohrleitungen gibt.

In neuerer Zeit werden daher nach Bueb vor den Ammoniakwäschern noch ein Naphthalin- und Zyanwäscher eingeschaltet. In ersterem befinden sich zum Auswaschen des Naphthalins Teeröle (Anthrazen- und Kreosotöl), in letzterem eine gesättigte Lösung von Eisenvitriol, durch welche das Zyan bei Gegenwart von Ammoniak als Eisenammondoppelsalz in Gestalt eines unlöslichen Schlammes ausgeschieden wird.

DIE ABLEITUNG ZU DEN KONSUMSTELLEN. Das gereinigte Gas wird in großen glockenförmigen Gasbehältern aus Eisenblech, den sogenannten Gasometern, gesammelt, welche in betonierte Wasserbehälter eintauchen. Zwecks Feststellung der Erzeugung ist vorher eine große Gasuhr eingeschaltet, und um den Druck im Rohrnetz möglichst immer auf gleicher Höhe halten zu können, durchzieht das Gas hinter dem Gasbehälter einen Druckregler. Dieser besteht aus einer in Wasser schwimmenden Glocke, welche durch ihr aus dem wechselnden Gasdruck bedingtes Auf- und Absteigen das Gaszuleitungsventil selbsttätig reguliert.

An den Druckregler schließt sich das Rohrsystem für die Fortleitung des Gases an, zusammengesetzt aus gußeisernen Muffenrohren, welche durch geteertes Werg und Blei gedichtet werden. Im Winter eintretenden Verstopfungen desselben durch Kondensation von Benzol und Naphthalin wird durch Eingießen von Alkohol abgeholfen. Der Konsum wird an jeder einzelnen Abgabestelle durch Gasuhren gemessen. Auch stehen hierfür bereits Automaten in Gebrauch, welche nach Einwurf eines bestimmten Geldstückes die entsprechende Anzahl Liter Gas abgeben.

DIE GASBRENNER. Werden feste Körper erhitzt, so beginnen sie bei einer Temperatur von etwas über 400° sich im Dunkeln durch schwaches Leuchten bemerkbar zu machen; über 600° erhitzt werden sie deutlich glühend und können über 1000 bis 1200° zur Weißglut gebracht werden, während Gase selbst bei 1500—2000° noch nicht leuchten. Das Leuchten einer Gas-, Kerzen- oder Ölflamme rührt von festen glühenden kohlenstoffreichen Verbindungen her, welche bei der Verbrennung der niederen Kohlenwasserstoffe auf hohe Temperatur erhitzt und dadurch zum Glühen gebracht werden. (Davy.)

Frankland und Tyndall betrachten zwar als Ursache des Leuchtens einer Leuchtgasflamme nicht den ausgeschiedenen festen Kohlenstoff, sondern das Vorhandensein dichter Dämpfe der höheren schweren Kohlenwasserstoffe; derzeit wird jedoch ganz allgemein als die Ursache des Leuchtens das Erhitzen fester Körper auf hohe Temperatur angenommen. Dieser feste, als Kohlenstoff betrachtete Körper entsteht durch Zerlegung der schweren Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoff und wasserstoffreichere Verbindungen, ähnlich wie der Retortengraphit in den Gasretorten; ja, es soll sogar das Methan selbst bei genügend hohen Temperaturen teilweise in diesem Sinne zerlegt werden. Die Leuchtkraft solcher Kohlenwasserstoffflammen ist also desto größer,

je größer die Menge des Kohlenstoffes ist und je höher die Temperatur der Flamme. Und während bei der Gasbeleuchtung die zur Verbrennung kommenden Gase schon fertig vorhanden sind, werden in der Petroleum- und Kerzenflamme dieselben erst erzeugt durch trockene Destillation des vom Docht aufgesaugten Materials.

Je nach der Beschaffenheit der Brenner nun kann man unterscheiden: 1. solche für offene Flammen; 2. Argandbrenner; 3. Regenerativbrenner; 4. Invertbrenner und 5. Gasglühlichtbrenner.

Zu ersterer Kategorie gehören der gewöhnliche Schnittbrenner, der Einlochbrenner und der Zweiloch- oder Fischschwanzbrenner. Die Brennköpfe derselben werden meist aus Speckstein hergestellt, da metallene Brennköpfe die Flamme stark abkühlen, sich leichter verstopfen und daher auch weniger Licht geben.

Nur die flachen, dünnen Flammen erhalten an und für sich genügende Luft zur Verbrennung. Ein Brenner mit größerem Gasverbrauch und beförderter Luftzuführung ist der Argandbrenner. Dieser besteht aus einem kranzförmigen Brenner aus Speckstein, der oben (im Kreise herum) mit 20—40 kleinen Löchern besetzt ist. Diese Anordnung des Brennerkranzes gestattet der Luft den Zutritt von unten zu dem Innern, dem Kern der kreisförmigen Flamme, welche sich aus den vielen Einzelflämmchen zusammensetzt. Daneben erhält auch der Mantel der Flamme eine gesteigerte Luftzufuhr durch einen aufgesetzten Zylinder, der — einmal erwärmt — saugend wirkt und andauernd einen Luftstrom von unten nach oben erzeugt. Dieser Zylinder hat — in Wahrheit seinem Namen entsprechend — in allen Teilen gleiche Weite, ohne eine Einschnürung wie die Zylinder der Petroleumlampen zu besitzen. Derselbe schützt außerdem auch die Flamme vor Störungen und gestaltet so die Beleuchtung ruhiger und gleichmäßiger.

Weiter konstruierte Siemens nach dem Prinzip seines Regenerativheizsystems einen Regenerativbrenner, bei welchem die zur Leuchtgasflamme hinzutretende Verbrennungsluft durch die heißen Verbrennungsprodukte der Flamme selbst vorgewärmt wird. Das Ansaugen der Verbrennungsluft wird durch einen kurzen Schornstein befördert und dabei die Verbrennungsgase durch ein Ventilationsrohr nach außen abgeleitet, so daß auf diese Weise jedes Vordringen der Luft durch die Verbrennungsprodukte vermieden wird.

Da diese Lampe den Nachteil besitzt, nach unten viel Schatten zu werfen, erscheint bei dem sogenannten Invertbrenner die bisher nach aufwärts brennende Flamme nach unten gekehrt und wird durch eine halbkugelige Glasglocke abgeschlossen, so daß unter der Lampe kein Schatten entsteht.

Solange man das Leuchtgas in offener Flamme verbrannte, war für dessen Leuchtkraft hauptsächlich die Menge der darin vorhandenen schweren Kohlenwasserstoffe maßgebend. Seitdem man jedoch nach der epochemachenden Erfindung Auer v. Welsbachs als glühenden, Licht ausstrahlenden Körper das Aschengewebe gewisser seltener Erden benutzt, trat bezüglich der Lichtstärke des Gases dessen Heizkraft bzw. Verbrennungswärme und Verbrennungstemperatur in den Vordergrund.

Die Entdeckung des genannten Erfinders war von weittragendster Bedeutung nicht allein für die Leuchtgastechnik selbst, sondern auch für unser gesamtes Beleuchtungswesen. Außerdem gab sie aber durch die Heranziehung der bei der fabrikmäßigen Darstellung dieser seltenen Erden gewonnenen Körper mannigfache Anregungen auch in anderen Industrien.

Nächst dem Uran besitzt unter allen Umständen das Thor die niedrigste spezifische Wärme und erscheint schon dadurch hervorragend geeignet, als Medium für

die Umwandlung der in der Bunsenflamme erzeugten chemischen Energie in Lichtenergie zu dienen. Hierzu kommt noch die enorme Oberflächenentwicklung, welche sich durch die äußerst poröse, schaumartige Asche der mit Thorsalzen imprägnierten Gewebe erreichen läßt. Freilich weicht das Strahlungsvermögen von reiner Thorerde nicht weit von demjenigen der Zirkonerde, der Magnesia und anderer unschmelzbarer, zum Glühen erhitzter Substanzen ab; sobald man jedoch der Thorerde geringe Mengen anderer Elemente beimengt, welche eine wechselnde Valenz besitzen und daher in der Bunsenflamme Oxydations- und Reduktionsprozessen unterliegen können, tritt ein enormer Lichteffekt auf. Als besonders günstig hat sich in der Praxis ein Zusatz von 1 % Cer zur Thorerde erwiesen; durch Zusatz anderer Erden läßt sich die Nuance der Flamme etwas modifizieren.*

Das Cer (Ce = 138) ist ein zwar nicht sehr häufig, aber doch in nicht unbeträchtlichen Mengen vorkommendes Element. So enthält der Cerit etwa 60 % Cer, und außerdem wurde es noch in zahlreichen schwedischen, grönländischen, finnischen und amerikanischen Mineralien gefunden. Das Ausgangsmaterial für die Darstellung des Cers und der es begleitenden selteneren Ceritmetalle ist der Cerit, neuerdings jedoch namentlich der Monazitsand, von dem in Brasilien und besonders in Nordkarolina große Lager aufgefunden worden sind, welche ihres Thor- und Cergehaltes wegen ausgebeutet werden. Von den Oxyden des Cers, dem Cersesquioxyd Ce_2O_3, dem Cerdioxyd CeO_2 und dem orangebraunen Certrioxyd CeO_3 ist nur das Dioxyd glühbeständig.

Zur Herstellung der Glühkörper (Glühstrümpfe) benutzt man ein schlauchförmiges Maschengewebe aus feinem Baumwollgarn, welchem zuerst durch längere Behandlung mit Säuren, Seife usw. alle Unreinigkeiten und besonders auch der größte Teil der Aschenbestandteile entzogen wird. Nach sorgfältigem Trocknen werden dann die Schläuche in Stücke von 18—25 cm Länge zerschnitten und diese auf einer Seite umgesäumt. Nun kommen sie für kurze Zeit in die Imprägnierungsflüssigkeit (Fluid genannt), bestehend aus einer wässerigen Lösung von Thor- und Cernitrat, welcher, um das Gewebe leichter verbrennlich zu machen, auch noch etwas Ammoniumnitrat zugesetzt ist. Sodann zieht man sie durch eine Wringmaschine und trocknet bei mäßiger Ofenwärme, worauf der obere umgesäumte Teil des Strumpfes durch einen Asbestfaden zusammengezogen und mit einer ebensolchen Schlinge zum Aufhängen versehen wird.

Nunmehr muß die Baumwolle daraus durch Abbrennen entfernt werden. Zu diesem Zwecke gibt man dem Glühkörper durch Ausziehen und Ausstreifen über einem passenden Holzkegel die bekannte zuckerhutähnliche Form, zieht ihn mit einem eisernen Haken an der Aufhängeschlinge von dem Kegel ab und läßt ihn über einem Bunsenbrenner abbrennen. Hierauf behandelt man ihn in geeigneter Weise mittels eines Gasgebläses, wodurch er stark zusammenschrumpft und gehärtet

* Entsprechende Demonstrationsversuche lassen sich mit Gasglühlichtlampen anstellen, indem man drei vollkommen gleiche Bunsenbrenner unter drei Gefäßen, die je 1 Liter Wasser enthalten, entzündet und durch die Erwärmung des Wassers die von den Brennern geleistete Wärmeenergie mißt. Nachdem man sich überzeugt hat, daß alle drei Brenner die betreffende Wassermenge in gleicher Zeit zum Sieden bringen, setzt man auf einen der Brenner einen Glühkörper aus reinem Thor, auf den zweiten einen der käuflichen Glühstrümpfe mit 99 % Thorerde und 1 % Ceroxyd, während der dritte Brenner als Kontrollbrenner keinen Glühstrumpf erhält. In dem Maße, als Lichtenergie erzeugt wird, tritt viel weniger Wärmeenergie auf; bei dem Thor-Cerkörper wird mehr als ¼ der erzeugten Energie als Licht ausgestrahlt und dementsprechend das Wasser z. B. in derselben Zeit, in der der Kontrollbrenner es um 22° erwärmt, durch den Auerbrenner nur um etwa 16° erwärmt (Killing, nach Erdmann: „Lehrbuch der anorganischen Chemie", S. 603).

wird, sowie die verlangte haubenartige Gestalt annimmt. Für den Transport wird der Glühkörper dann noch mit Kollodium getränkt.

In neuerer Zeit stellt man noch haltbarere Gewebe aus sogenannter Kunstseide (Kupferzellulose) her, auf welchen die Thorerde in Form von Hydroxyd gefällt wird.

Einen besonderen Lichteffekt — 500 Kerzen Lichtstärke bei einem Gasverbrauch von 500—600 l pro Stunde erzielt man mit der Lucaslampe; die notwendig verstärkte Luftzufuhr wird dabei mittels eines Schornsteins bewirkt. Für die Beleuchtung größerer Räume verwendet man auch Preßgas, indem man das Leuchtgas unter einem erhöhten Druck ausströmen läßt; hierbei sind zwar keine Zylinder erforderlich, aber der Verbrauch an Glühkörpern ist größer. Gewissermaßen eine Invertlichtlampe stellt ferner der Grätzinbrenner dar, indem darin die Flamme nach unten brennt, Gas und Luft durch die abziehenden Verbrennungsgase vorgewärmt werden und die Verbrennungsprodukte nach oben abströmen. Durch eine den Glühkörper umgebende Milchglasglocke wird das Licht etwas gedämpft.

Die Ökonomie der Lichterzeugung ist gegenwärtig erheblich gestiegen; in den großen Preßgas-Intensivlampen werden etwa 0,45 l Gas, in den kleinen Hängegasglühlichtlampen 0,8—1 l Gas pro eine Kerzenstunde verbraucht gegenüber dem alten Auerbrenner mit 1,5 l Gasverbrauch. Die Kosten für gleiche Lichtmengen sind also in dem letzten Jahrzehnt bei gleichem Gaspreis durch die neueren Lampen etwa auf die Hälfte gegen früher gesunken, und die Gasbeleuchtung wird in bezug auf Billigkeit und Lichtfülle von keinem anderen Beleuchtungsmittel übertroffen. In bezug auf die Bequemlichkeit der Zündung läßt dieselbe jedoch manches zu wünschen übrig, und es wird an der Vervollkommnung in dieser Richtung eifrig gearbeitet (s. Bunte, Chem. Zeitung, 1910, S. 531).

DIE WASSERGASERZEUGUNG. Das Generatorgas hat infolge seines hohen Stickstoffballastes einen verhältnismäßig geringen Heizwert. Einen bedeutend größeren Heizwert besitzt das Wassergas, dessen Erzeugung in den letzten Jahren bedeutend zugenommen hat, nachdem Strache einen Generator konstruierte, der es gestattet, auch aus gewissen primären Brennstoffen, den Kohlen selbst, Wassergas zu erzeugen, und nachdem, insbesondere nach dem Verfahren von Dellwik und Fleischer, eine ökonomische Gewinnung desselben ermöglicht wurde.

Leitet man Wasserdämpfe über glühende Kohlen, also bei Temperatur von gegen 1000°, so werden dieselben zerlegt nach der Gleichung: $C+H_2O=CO+H_2=-68400+29000=-39400$ Cal. (für flüssiges Wasser) und — 28600 Cal. für Wasserdampf von etwa 20° C. Der Prozeß ist also stark endothermisch, absorbiert Wärme, wodurch eine ziemlich rasche Abkühlung der anfangs bis zum Glühen gebrachten Kohle eintritt. Das so gebildete Gas

Wasserstoff = 50 Raumteilen oder 6,7 Gewichtsteilen
Kohlenoxyd = 50 „ „ oder 93,3 „

hat also eine sehr günstige Zusammensetzung. Da die Temperatur jedoch aus obigen Gründen bald sinkt, so hört die Zerlegung des Wasserdampfes nach angegebener Formel nach einer gewissen Zeit auf, und ungefähr bei 600° findet dieselbe nach folgender Formel statt:

$$2H_2O + C = \underbrace{2H_2}_{4\text{ Vol.}} + \underbrace{CO_2}_{2\text{ Vol.}}.$$

Das Gas hat dann die Zusammensetzung von $^2/_3$ Wasserstoffgas und $^1/_3$ Kohlendioxyd. Nachdem das Kohlendioxyd keinen Verbrennungswert mehr hat, so ist das

Gas bedeutend schlechter geworden, und um die Temperatur des zu vergasenden Brennstoffes auf die ursprüngliche Höhe zu bringen, muß man mit dem Zuleiten des Wasserdampfes nun aufhören und durch exothermische Verbrennung einer gewissen Menge von Kohlenstoff mit Wind jetzt wieder die Kohlen anheizen. Bei der Wassergaserzeugung muß also ein gewisses Quantum der Kohle entweder zu Kohlenoxyd oder zu Kohlendioxyd verbrannt werden, und man nennt diese zur Erhaltung der notwendigen hohen Reaktionstemperatur zu verbrennende Kohle die Heizkohle.

Bei der Darstellung im großen verwendet man jedoch nicht reinen Kohlenstoff, sondern Koks, Anthrazite oder sonstige entgaste Brennstoffe, wodurch gewisse Abweichungen in der Zusammensetzung entstehen.

Gewöhnlich bewegt sich daher diese Zusammensetzung innerhalb folgender Grenzen:

	Raumteile	Gewichtsteile im Mittel
Wasserstoff . . .	44—53, im Mittel 48 %	5,9 %
Kohlenoxyd . . .	45—40 „ 43 „	75,4 „
Methan	4—0 „ 1 „	1,0 „
Kohlendioxyd . .	1,5—6 „ 3,5 „	9,9 „
Stickstoff	8—1 „ 4,5 „	7,8 „

Der Wassergasprozeß gestattet deshalb keine kontinuierliche Erzeugung, sondern es erfolgt zuerst das Anheizen des Generators und des Kokses bis zur Glühhitze durch Verbrennen auch des Brennstoffes mittels Wind (Heißblasen), und dann kann erst die Zerlegung des Wasserdampfes durch die glühenden Kohlen erfolgen (Kaltblasen oder Gasmachen). Man kann dieses Heißblasen auf zweierlei Weise durchführen: entweder erzeugt man Generatorgas, das ist Luftkohlenoxydgas, und kann dasselbe aus dem Wassergas-Generator ganz abführen und entsprechend verwenden, oder aber man kann dieses Generatorgas in eigenen Räumen durch Wind verbrennen und die erzeugte Wärme auf eine andere Weise bei dem Prozeß selbst ausnutzen.

Zur Wassergaserzeugung sind mehrfache Methoden praktiziert und dementsprechend verschiedene Apparate konstruiert worden: Quaglio und Dwight, Strong, von Krupp in Essen usw., Dellwik und Fleischer usw.

Die älteren Verfahren unterscheiden sich von letzteren hauptsächlich durch die Art des Heißblasens. Während nämlich erstere beim Heißblasen unter Anwendung eines niedrigen Winddrucks und hoher Schichthöhe in hohen Generatoren Generatorgas erzeugen, geht das Dellwik-Fleischersche Verfahren darauf aus, in der Heißblaseperiode die Verbrennung zu einer vollkommenen zu gestalten, so daß also Kohlensäure entsteht, da Dr. Fleischer (Dresden) zeigte, daß man durch Anwendung geeigneter Bedingungen die Reduktion der primär gebildeten Kohlensäure zu Kohlenoxyd verhindern kann. Daß das Aufsehen, welches dieses Verfahren machte, nicht unberechtigt war, indem es einen gewaltigen Fortschritt für die Ökonomie des Wassergasprozesses bedeutet, ergibt sich aus folgender thermochemischer Betrachtung:*

1. Ältere Verfahren: $C + O = CO$ . . . . 28800 Cal.

Um 12 g C zu verbrennen, sind erforderlich 16 g O, dazu 52,9 g N, woraus 28 g CO entstehen. Entweichen diese mit 700° C, so entführen sie $28 \times 0{,}248 \times 700° + 52{,}9 \times 0{,}244 \times 700 =$ — 13895 Cal.

Disponibel + 15900 Cal.

* Messerschmidt: „Zeitschrift für anorganische Chemie", 1902, S. 577.

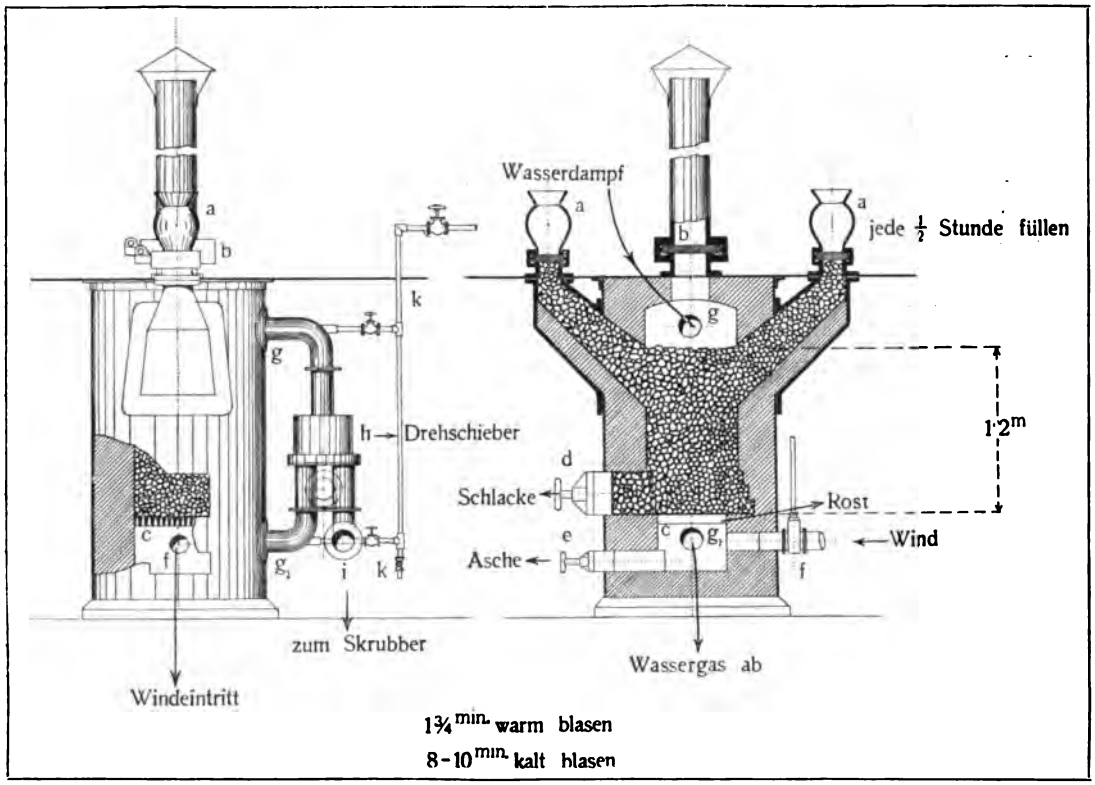


Abbildung 18. **Wassergaserzeugungsapparat (System Dellwik-Fleischer.)**

2. Dellwik-Fleischersches Verfahren: $C + O_2 = CO_2 + 96960$ Cal., 12 g C geben mit 32 g O 44 g CO_2 dazu 105,8 g N. Entweichen die Abgase mit 1000° C, so entführen dieselben $44 \times 0{,}217 \times 1000 + 105{,}8 \times 0{\cdot}244 \times 1000 = 35362$ Cal.

Disponibel + 60000 Cal.

Bei gleichem Kohlenstoffverbrauch wird also beim Dellwik-Fleischerschen Verfahren in der Heißblaseperiode viermal soviel Wärme zur Wassergaserzeugung aufgespeichert wie bei den übrigen Verfahren. Die Arbeitsweise ist nun die, daß nur etwa 1 Minute lang warm geblasen wird, so daß pro Stunde etwa 50 Minuten lang gegast und nur 10 Minuten für Heißblasen und Koksnachfüllen verloren gehen, während die übrigen Verfahren nur etwa ein Drittel der Zeit zum Wassergasmachen benutzen können, die übrige Zeit aber zum Warmblasen verwendet werden muß. Der Erfolg dieser Arbeitsweise ist der, daß die Ausbeute an Wassergas beim Dellwik-Fleischerschen Verfahren die aller anderen um ein bedeutendes übertrifft. Man erzielt 2 cbm Gas pro 1 kg Koks, dabei stellt sich der Preis (der je nach den Kokspreisen natürlich schwankt) inkl. Amortisation und Verzinsung, Arbeitslöhne etc. auf 1,5 Pf. pro cbm.

Das Wesentlichste des Dellwik-Fleischerschen Wassergaserzeugungsapparates wird durch die Abbildung 18 versinnlicht.

Der Generator ist kurz, demnach die Brennstoffschicht niedrig, aber die Windgeschwindigkeit bedeutend größer. Dadurch, daß die Fülltrichter a etwa jede halbe Stunde bis an die Schieber nachgefüllt werden, wird erreicht, daß die Brennstoff-

schicht im Hauptschacht dieselbe Höhe beibehält; im vorliegenden Falle beträgt diese 1,2 m. b ist der Kaminschieber, c der Rost, d die Schlackentür, e die Aschentür, f der Windeintritt vom Ventilator, g der Wassergasabgang oben, g_1 der Wassergasabgang unten, h der Drehschieber, durch den das Wassergas abwechselnd oben und unten abgeleitet werden kann, i der Abgang für das Wassergas zum Skrubber; die Dampfzuleitung k wird natürlich ebenfalls abwechselnd unten und oben in Tätigkeit gesetzt.

Ein neues Wassergasverfahren ist ferner dasjenige von Kramers und Aarts, welches die Vorteile einer niedrigen Brennstoffschicht während des Heißblasens mit denen einer hohen Schicht während des Gasmachens vereinigt und außerdem die beim Blasen entstehende Abhitze möglichst ausnutzt. Bei niedriger Brennstoffschicht ist beim Blasen, selbst mittels hoher Windgeschwindigkeit, eine Reduktion von Kohlendioxyd nie ganz zu vermeiden; anderseits aber dauert beim Gasen der Kontakt von Dampf und Brennstoff nicht lange genug, um die Gesamtmenge des Dampfes zu zersetzen. Es tritt demnach beim Blasen ein Wärmeverlust durch Entweichen von Kohlendioxyd in den Kamin ein, und auch der beim Gasen unzersetzt gebliebene Wasserdampf erhitzt sich und verursacht so einen Wärmeverlust. Zur Vermeidung dieser Übelstände verwenden die Erfinder zwei Generatoren mit niedriger Brennstoffschicht und zwei Überhitzer, deren Wirkung noch durch einen Unterwindvorwärmer verstärkt wird.

Wie aus der schematischen Zeichnung Abbildung 19 ersichtlich, können die Generatoren nebst ihren Überhitzern durch entsprechende Stellung der Ventile und Schieber entweder nebeneinander- oder hintereinandergeschaltet werden. Beim Heißblasen schaltet man sie nebeneinander und führt durch die Mittelleitung erhitzten Unterwind (der Vorwärmer ist in der Abbildung weggelassen) sowohl unter die Roste beider Generatoren wie auch unten in beide Überhitzer ein. Die Generatorbeschickung gerät durch die bei S II stattfindende Verbrennung des Luftsauerstoffes zu Kohlendioxyd in Weißglut, bei S III findet eine teilweise Reduktion des Kohlendioxydes zu Kohlenoxyd statt, und dieses verbrennt in den Überhitzern bei S IV mit der Sekundärluft wieder zu Kohlendioxyd und gibt dabei seine Wärme an das Gitterwerk der Überhitzer ab, um nun zum Windvorwärmer und in den Kamin zu entweichen. Nach 45 Sekunden dauerndem Blasen ist die zum Gasmachen erforderliche Temperatur erreicht.

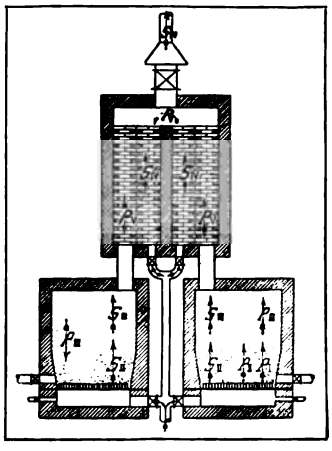


Abbildung 19. Generator von Kramers und Aarts.

Hierauf werden die Generatoren und Überhitzer durch Umstellen der Schieber hintereinandergeschaltet und unter den Rost eines Generators, zum Beispiel des im Bilde rechts befindlichen, sowie in die Überhitzer Dampf eingeblasen. Dieser zerfällt bei P I zu Wasserstoff und Sauerstoff, bei P II wird der Sauerstoff zu Kohlendioxyd verbrannt, und bei P III erfolgt die Reduktion desselben zu Kohlenoxyd. Es tritt also in den Überhitzer Wassergas neben unzersetztem Wasserdampf und nicht reduziertem Kohlendioxyd ein. Dieses vermischt sich hier mit weiteren Mengen Wasserdampf, der sich bei P I mit dem Kohlenoxyd zu Wasserstoff und Kohlendioxyd umsetzt, wodurch sich die Überhitzer abkühlen. Das so entstandene Gemisch von Wasserstoff und Kohlendioxyd durchstreicht nunmehr noch die weißglühende Brennstoffschicht des zweiten Gene-

rators, wobei das Kohlendioxyd bei P III zu Kohlenoxyd reduziert sowie Reste unzersetzten Wasserdampfes in Wassergas verwandelt werden.

Im Gegensatz zu den anderen Wassergasverfahren wird bei diesem die Richtung des Dampfstromes nicht nur nach je fünf Touren, sondern jedesmal gewechselt, indem man den Dampf einmal in den einen und einmal in den anderen Generator, aber jedesmal unter dem Rost einführt.

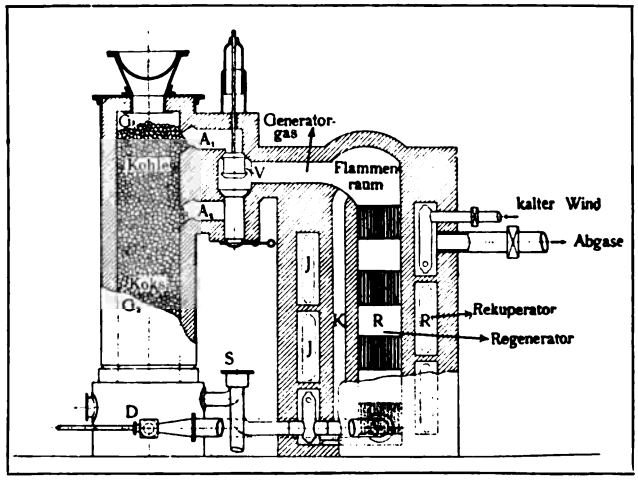


Abbildung 20. Generator von Prof. Dr. Strache.

Die Wassergaserzeugung konnte lange nur aus entgasten Brennstoffen wie Koks bzw. Anthrazit stattfinden, da bei primären Brennstoffen der Verwendung derselben mehrfache Ursachen: die Wärmebindung bei der Entgasung derselben sowie die Bildung teeriger Produkte, hindernd im Wege standen.

Prof. Dr. Strache in Wien hat in erster Linie den Weg beschritten, die Kohle zur Wassergasbereitung zu benutzen.

Sein Generator, Abbildung 20, gliedert sich in zwei Teile: im unteren Teile G_2 befinden sich Koks, im oberen G_1 Kohle oder ein Gemisch von Kohle und Koks. Zunächst tritt die in den Winderhitzern I gut vorgewärmte Vergasungsluft in den unteren Teil G_2 des Generators und erhitzt den Koks; die Generatorgase gehen durch A_2 in den Regenerator R, wo sie unter Zuhilfenahme von durch K zuströmender Luft verbrannt werden. Ist die Kokschicht glühend, so schließt man A_2 durch das Ventil V; die Generatorgase durchziehen die im oberen Teil G_1 befindliche Kohle, die hier und da auch mit Koks gemischt wird, und strömen von da durch A_1 nach dem Regenerator, der sich kräftig erhitzt. Nun beginnt das eigentliche Gasmachen. Am Aschenraum des Generators befindet sich ein Dampfventilator D, welcher die im Generator befindlichen Gase nach unten saugt und sie in den unteren Teil des Generators schafft, von dem aus sie wieder durch A_1 in den oberen Generatorteil gelangen. Hier besorgen sie die Destillation der Kohle und vermehren die nun entstehende Wassergasmenge.

Es findet also beim Gasmachen ein Kreislauf statt, und der Überschuß an Wassergas geht durch die bei S angebrachte Rohrleitung aus dem Generator ab.

Prof. Dr. Strache gibt als Ergebnis bei seinen Generatoren eine Ausbeute von 2—2,5 cbm Wassergas aus 1 kg Kohle an.

Im Wassergas fand man später eine sehr interessante gasförmige Verbindung, das Eisenkarbonyl $Fe(CO)_4$, analog dem bekannten Mondschen Nickelkarbonyl $Ni(CO)_4$. Bei der Verbrennung entsteht aus dem Eisenkarbonyl Eisenoxyd, welches sich an den Glühkörpern absetzen und sie nach einiger Zeit unwirksam machen würde. Strache zeigte, daß man dieses Eisenkarbonyl dem Wassergas durch konzentrierte Schwefelsäure entziehen könne.

Die Strachesche Schwefelsäure-Reinigung bewirkt außer der Reinigung von $Fe(CO)_4$ auch die vollständige Trocknung des Gases, so daß nachträgliche Kondensationen in der Kälte nicht zu befürchten sind, wodurch ein Einfrieren der Rohrleitungen unmöglich wird. Die ablaufende Säure ist als verdünnte Schwefelsäure verkäuflich.

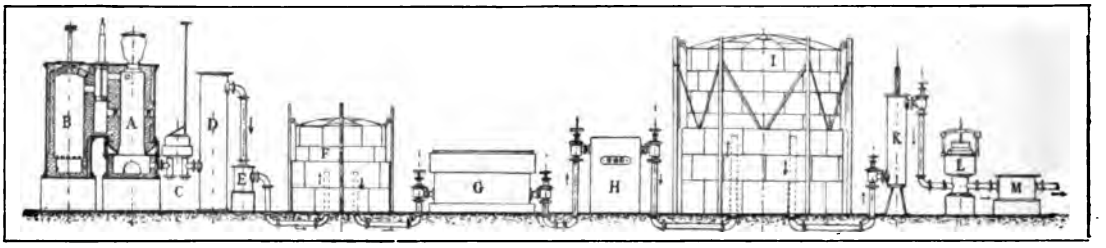


Abb. 21. Schematische Zusammenstellung der Reihenfolge der Apparate einer Stracheschen Wassergasanlage.

Als Mittel, um das sonst nicht riechende Wassergas dauernd stinkend zu machen oder es zu parfümieren, fand Strache als besonders geeignet das Karbylamin (Phenylkarbylamin), und es dienen zu diesem Zwecke kontinuierlich wirkende Parfumeure (System Dr. Jahoda), welche mit Karbylamin beschickt werden. Pro 100 m³ Gas sind 3 Gramm Karbylamin erforderlich.

Abbildung 21 zeigt in schematischer Zusammenstellung die Reihenfolge, nach welcher das Gas die Apparate passiert.

MISCHGAS. Unter allen Umständen ist bei der Wassergaserzeugung der Nachteil vorhanden, daß dieselbe keine kontinuierliche ist. Dowson kam zu Ende der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts auf die Idee, in dem ausgeheizten Generator einen Brennstoff zum Glühen zu bringen und gleichzeitig Wasserdampf und Wind einzublasen. Durch die Zersetzung des Wasserdampfes wird allerdings Wärme gebunden, durch Verbrennung des Kohlenstoffs durch den Wind-Sauerstoff wird aber Wärme erzeugt, und es kann durch das Einhalten eines passenden Verhältnisses von Wasserdampf und Wind die Temperatur so erhalten werden, daß sie konstant gegen 1000° C beträgt und dabei die Gaserzeugung kontinuierlich bleibt. Ein solches Gas wird also ein Gemisch von Wassergas und Luftkohlenoxydgas darstellen, entsprechend der Zusammensetzung:

16 bis	18	Volum-%	Wasserstoff,
22 „	24	„	Kohlenoxyd,
	4	„	Kohlensäure und Kohlenwasserstoff,
	50	„	Stickstoff.

Dieses Gas, anfangs Dowson-Gas genannt, heißt jetzt Mischgas oder Kraftgas, weil es insbesondere zum Betrieb von Gasmaschinen verwendet wird. Die Erzeugung von solchem Kraftgas wird jetzt meistens dort vorgenommen, wo man es unmittelbar zum Betrieb eines Gasmotors verwendet, wobei durch das Spiel des Kolbens im Explosionszylinder des Motors das erzeugte Gas von selbst angesaugt wird. Dieser Arbeitsweise entsprechend nennt man solche Erzeuger Sauggeneratoren. Anfangs nur für kleingewerbliche Betriebe ausgeführt, werden sie jetzt auch bei größeren Anlagen angewendet. Die Abhitze des Generators wird zur Erzeugung des notwendigen Wasserdampfes benutzt. Eine solche Sauggeneratoranlage von Pintsch in Berlin ist in Abbildung 22* abgebildet.

Einen sehr wesentlichen Teil der Anlage stellt der Regler H dar. Dieser besteht aus einer über Sperrwasser gestülpten Glocke, deren Inhalt sowohl mit dem Gasmotor wie mit dem Erzeuger in Verbindung steht. Eine Feder und ein die Glocke

* Nach Dr. G. Kepeller in „Chemische Zeitschrift", 1. Jahrgang (1902), Nr. 18.

schwimmend erhaltender Luftring sorgen dafür, daß im Gasraum stets derselbe Druck, und zwar ein geringer Unterdruck, herrscht. Denken wir uns die Glocke mit Gas gefüllt; hierauf trete im Motor die Saugperiode ein, Glockenraum und Motorzylinder kommunizieren. Der saugende Gasmotor wird einen noch größeren Unterdruck hervorbringen, die Glocke wird sinken und das Gas an den Motor abgeben. Während im Gasmotor nun die Füllung komprimiert wird und explodiert, steigt die Glocke wieder und füllt sich mit Gas. Sie erzeugt also einen stetigen Unterdruck, der im gleichmäßigen Strom das Gas durch die Apparate saugt. Das noch 500—700° heiße Gas kommt zunächst in einen Kühler B, der gleichzeitig als Dampfkessel funktioniert. Das Kühlwasser wird durch die Hitze der Gase zum Sieden gebracht und entwickelt lebhaft Dampf, der unter den Rost tritt und dort, mit Luft gemengt, in die glühende Kokssäule gesaugt wird. Der Wasserdampf wird durch die Kohle zerlegt im Sinne der Gleichung: $C + H_2O = CO + H_2$, und die in der mitgeführten Luft partiell zu CO verbrennende Kohle liefert die nötige Wärme, die für die Wasserdampfzersetzung nötig ist. Das vorgekühlte Gas wird in dem Wäscher F_1 noch weiter abgekühlt, schlägt in F_2 mitgerissenen Wasserdampf nieder und wird in G von Verunreinigungen (mitgerissenen Teerdämpfen, H_2S usw.) gereinigt. C ist ein Sicherheitsventil, das dem Gas gestattet, bei eintretendem Überdruck ins Freie auszutreten. Der Kondenstopf D ist so eingerichtet, daß er eine leichte Außerbetriebsetzung der Anlage gestattet. Man schließt einfach den Wasserabflußhahn, der Topf füllt sich mit dem im Kühler kondensierten Wasser und schließt den Gasdurchgang ab: die Anlage ist außer Betrieb.

MONDGAS. Während für die Verwertung von Qualitätskohle demnach eine Reihe wichtigster Fortschritte gemacht wurden, hat man in letzter Zeit auch eine rationellere Ausnutzung minderwertiger Kohle kennen gelernt in der Darstellung einer neuen Art von Mischgas, dem Mondgas, dessen Darstellung wir dem durch seine wissenschaftlichen Arbeiten bekannten, jüngst verstorbenen Chemiker und Großindustriellen Mond verdanken.

Mond verwertet für seine Zwecke bituminöse Kohle, und zwar verhältnismäßig geringwertigere Sorten derselben, zur Erzeugung einer Art Halbgas oder Mischgas und führt den Vergasungsprozeß der Kohle, der also sowohl durch Wasserdampf als Luft-Sauerstoff stattfindet, bei möglichst niedriger Temperatur (450°) durch, um die Zersetzung des dabei sich entwickelnden Ammoniaks zu verhindern.

Das Mondgas ist eine Art Halbwassergas, d. h. ein durch Vergasung entstehendes Gas, bei dessen Erzeugung der Luft Wasserdampf zugefügt wird. Es unterscheidet sich aber von der sonst gebräuchlichen Art, wie es in den allgemein üblichen Apparaten von Dowson, Deutz, Körting, Wilson usw. hergestellt wird, in zweierlei Richtung. Erstlich hat die Mondsche Apparatur den Zweck, die Vergasung bituminöser Kohle zu gestat-

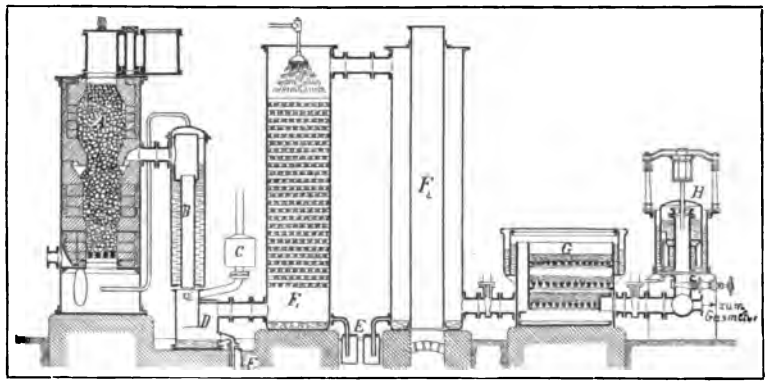


Abbildung 22. Sauggeneratoranlage von Pintsch.

ten, während sonst nur Koks und Anthrazit angewandt werden kann. Mond bedient sich, um dies zu erreichen, des Kunstgriffes, die bei der Erhitzung des neu aufgegebenen Brennstoffes abdestillierenden Kohlenwasserstoffe über glühenden Koks zu leiten, um sie dort in nicht kondensierbare Verbindungen zu zerlegen. Es ist dies ein mehrfach angewandtes Prinzip, das bei der Wassergasdarstellung aus Bitumkohlen nach Strache, wie auch bei einigen patentierten Apparaten* von Deutz für die Herstellung von Halbwassergas aus bituminöser Kohle Anwendung findet.

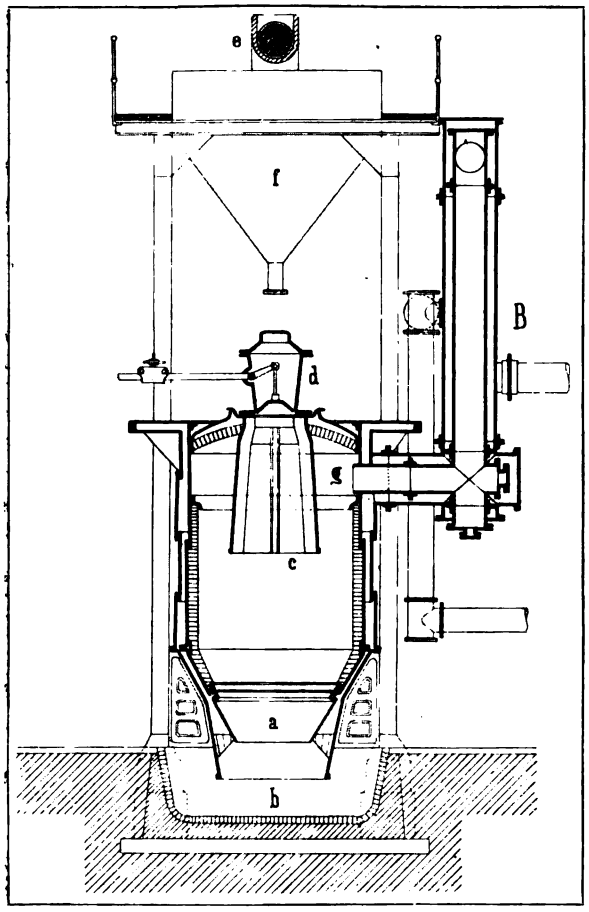


Abbildung 23. Schachtofen von Mond.

Die konstruktive Ausbildung ist bei Mond die folgende. Abbildung 23 (nach Keppeler, Chemische Zeitschrift, I. Jahrgang, Nr. 11) stellt den Schachtofen dar, der als Erzeuger dient. In diesen ist ein Zylinder c eingebaut, der in den bereits bis zur Glut erhitzten Brennstoff hineinragt. Wird neue Kohle aufgegeben, so fällt sie zunächst in diesen Zylinder, wo sie durch die von unten kommende Wärme entgast wird. Die Destillationsprodukte müssen alsdann durch die in Glut befindliche Schicht, ehe sie durch das höherliegende Abzugsrohr entweichen können. Sie werden dort in einfache, nicht kondensierbare Verbindungen zerlegt.**

Noch wesentlicher aber ist die Gewinnung von Ammoniak aus dem Stickstoff der Kohle. Ja, man könnte sagen, daß die Ammoniakgewinnung das Hauptziel und das Heizgas nur Nebenprodukt des Mondschen Verfahrens sei. Dieser Gesichtspunkt führt aber zu einer ganz veränderten Leitung des Vergasungsvorganges. Bei der Halbwassergasdarstellung haben wir zwei nebeneinander verlaufende Prozesse, einerseits die Verbrennung der Kohle im Sauerstoff der Luft, anderseits die Zersetzung des Wasserdampfes durch die glühende Kohle. Der erste Vorgang produziert Wärme, der zweite verbraucht Wärme. Die Wasserdampfzersetzung wirkt darum temperaturerniedrigend, und es wird die Temperatur des Erzeugers davon abhängen, wie das Verhältnis von Luft zu Wasserdampf bemessen ist. Die Produkte der Verbrennung wie der Wasserdampfzersetzung sind aber eine Funktion der Temperatur,*** und man hat bei der bisherigen Halbwassergasdarstel-

* D.R.P. 104577.

** Die Teerbildung wird dadurch nicht vollkommen vermieden. Aber durch die intensive Waschoperation zwecks Ammoniakgewinnung wird auch der Teer entfernt, so daß im Rohrnetz und Gasmotor keine Störungen vorkommen.

*** Siehe weiter unten die Besprechung der Boudardschen Arbeiten über diesen Gegenstand

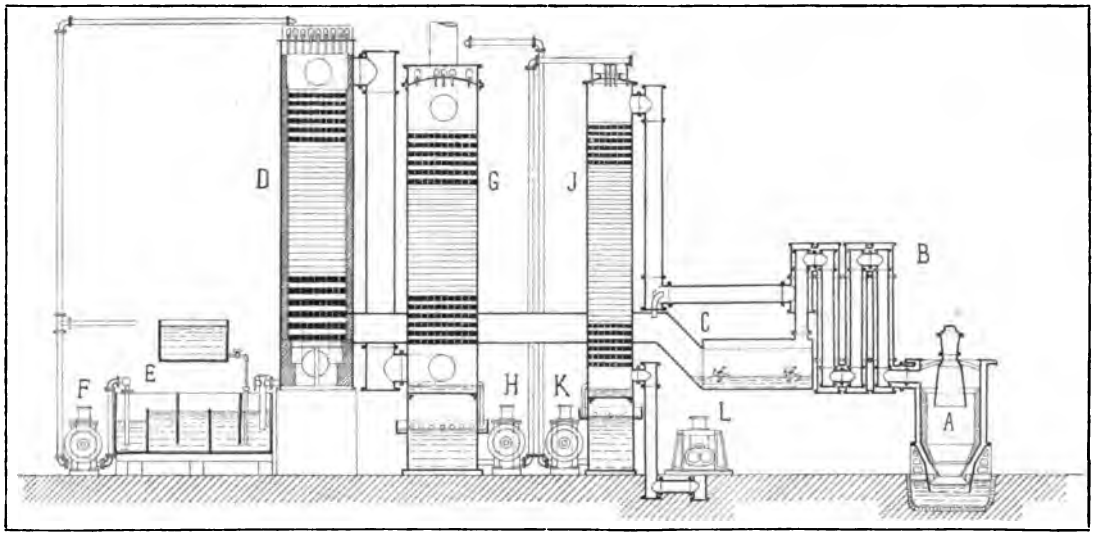


Abbildung 24. Anlage zur Erzeugung von Mondgas.

lung sparsame Wasserdampfzuführung und damit eine höhere Temperatur (über 800° C) im Erzeuger beliebt, weil dort die beiden Prozesse in der Hauptsache im Sinne der Gleichung verlaufen:

$$2C + O_2 = 2CO$$
$$C + H_2O = CO + H_2,$$

weil dort die Bildung des Kohlenoxyds im Vordergrunde steht, während die als Ballast zu betrachtende Kohlensäure sich nur im geringen Maße bildet.

Die Gewinnung des Ammoniaks erlaubt aber so hohe Temperaturen nicht, da die ergiebige Überführung des Kohlenstickstoffs im Ammoniak von einem großen Wasserdampfüberschuß abhängig ist. Mond arbeitet darum bei seiner Gaserzeugung mit viel Wasserdampf und deshalb bei niedriger Temperatur (450°), wo andere als die eben bezeichneten Reaktionen in Vordergrund treten, wo die Umsetzungen mehr im folgenden Sinne verlaufen:

$$C + O_2 = CO_2$$
$$C + 2H_2O = 2H_2 + CO_2.$$

Natürlich vollziehen sich diese Prozesse nicht ausschließlich, die Bildung von CO geht auch noch vor sich, aber es macht sich ein starker $H_2 + CO_2$-Gehalt im erzeugten Gase geltend.

Die technische Durchführung des Prozesses sei an Hand der Abbildung 24 erläutert. Das Gas wird in dem Schachtofen A, dessen Einrichtung Abbildung 23 in vergrößertem Maßstabe zeigt, erzeugt. Es entströmt durch den Gegenluftstromkühler B in den Wascher C. Dort wird es weiter abgekühlt und kommt etwa 90° warm nach dem Säureturm D, indem es von unten nach oben strömt, während von oben eine Lösung von Schwefelsäure und Ammonsulfat herabrieselt, die kontinuierlich aus dem Sammelgefäß E aufgepumpt wird. Ein Teil der Lösung, in der sich das Ammonsulfat anreichert, wird stets abgezogen und durch frische H_2SO_4 ersetzt. Das aus dem Säureturm tretende Gas ist immer noch warm und wird im Wasserkühler F gekühlt. Das in F herabrieselnde Wasser erfährt natürlich dabei selbst eine Erwärmung und wird nach G gepumpt, wo es durch von unten geblasene Luft gekühlt wird.

Dabei erwärmt sich die Luft und sättigt sich mit Wasserdampf. Die so vorgewärmte Luft wird noch weiter mit besonders eingespritztem Wasserdampf beladen, streicht im Gegenstromapparat B an dem heißen Gase vorüber und tritt (siehe Abbildung 23) durch den ringförmigen Mantel des Erzeugers e und den korbartigen Rost a, etwa 250° warm, zum Brennstoff. Der Erzeuger ist nach unten bei b mit Wasser abgeschlossen, in das die Asche von selbst hineinfällt.

Wie bereits besprochen, zeichnet sich das auf diese Weise entstehende Gas durch einen hohen H_2- und CO_2-Gehalt aus, wie ein Vergleich mit dem in Deutschland üblichen sogenannten „Kraftgas" zeigen möge:

	Mondgas	Gew. Halbwassergas aus Gaskoks
Methan	3 Prozent	2 Prozent
Wasserstoff . . .	23 „	7 „
Kohlenoxyd . . .	10 „	27 „
Kohlensäure . . .	15 „	6 „
Stickstoff	49 „	58 „
Heizwert	1200 W.-E. pro cbm	1200 W.-E. pro cbm.

Es werden auf 1 kg Brennstoff 4,4 cbm dieses Gases erzeugt. Bei einem Heizwert der Kohle von 7200 W.-E. gehen also $\frac{4{,}4 \times 1200 \times 100}{7200} = 73\,\%$ der Kohlenenergie in das Gas. Selbst wenn man berücksichtigt, daß noch für die Bewegung der Luft und Flüssigkeiten Arbeit aufzuwenden ist, dürfte der Nutzeffekt der Anlage nicht weit hinter den bisherigen Halbwassergasapparaten zurückbleiben. Dazu kommt, daß wir noch das wertvolle Ammonsulfat erhalten, und zwar wird angegeben, daß pro 1000 kg Kohle 40 kg $(NH_4)_2SO_4$* erhalten werden. Nehmen wir den Stickstoffgehalt der Kohle zu 1,3 % an, so entspricht das einer Ausbeute von 65 %; in Anbetracht der Tatsache aber, daß Kohle unverbrannt in die Asche geht (dort aber zum Teil ausgelesen wird), ist der Ammoniakgewinn weit größer.

Für die ungemein industrielle Grafschaft Staffordshire ist das in Rede stehende Verfahren von besonderer Wichtigkeit, da von den reichen Kohlenlagern derzeit nur mehr minderwertige Flöze der Verwendung entgegengehen und man auf diese Weise ein billiges und wertvolles Heizgas erzeugen kann, welches der enormen Ruß- und Rauchplage der dortigen Gegend — Black-Country — entgegenarbeiten soll.** Die Winningtoner Fabrik von Brunner, Mond & Komp. vergast jährlich 73000 Tonnen Kohle, während für die Heiz- und Kraftgasversorgung von Staffordshire auf fünf Zentralen 185000 Tonnen Kohle (das ist mehr als ein 1 % des englischen Steinkohlenkonsums) zur Vergasung gelangen sollen.

Die Gesellschaft wird den Kubikmeter zu 0,44—0,6 Pf. bei einem Heizwert von allermindestens 1100 W.-E. liefern, jedoch nur an Abnehmer, welche sich verpflichten, mehr als 1000000 Kubikfuß (28000 m^3) jährlich zu konsumieren. Wie billig dieses Gas ist, wird besonders deutlich, wenn man bedenkt, daß die einem Kubikmeter guten Leuchtgases entsprechende Wärmemenge von 5200 W.-E. im Mondgas der betreffenden Gesellschaft 2 – 3 Pf. kostet.

* Diese Ammoniakmenge repräsentiert einen Wert von 8 bis 10 M., während der der Kohle im allgemeinen unter 6 M. bleiben wird.

** Vgl. Schröttler: „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure" 1901, 1503; „Journal für Gasbeleuchtung" 1902, 580, sowie G. Kepellers Referat in „Chemische Zeitschrift" 1901/02, 314.

Der Betrieb hat sich allen Urteilen nach gut bewährt, ebenso die Anwendung des Gases für Heiz- und Kraftzwecke jeder Art. Der große Kohlensäuregehalt mag auf den ersten Blick zurückschrecken; aber dieser ist durch einen höheren Wasserstoffgehalt, der auf Kosten des Stickstoffes entstand, aufgewogen, so daß die Summe des unverbrennbaren Gases ($CO_2 + N$) gegenüber gewöhnlichem Halbwassergas keine wesentliche Änderung erfährt.

Auf die wirtschaftlichen Vorteile, welche in der Gewinnung bedeutender Mengen von Ammoniumsulfat liegen, kann hier nicht näher eingegangen werden.*

KOMBINATION VON LEUCHTGAS UND WASSERGAS. Das sogenannte blaue (nichtleuchtende) und das karburierte Wassergas konnte sich zufolge seiner großen Giftigkeit sowie mehrfacher anderer Umstände halber als alleiniges Heiz- und Beleuchtungsmaterial keine größere Verbreitung verschaffen. Jedoch wurden schon vielfach in Städten zur Deckung eines Bedarfs, der die Leistung des vorhandenen Leuchtgaswerkes zu manchen Zeiten übersteigt, Wassergasanlagen zugebaut, die in solchen Fällen aushelfen.

Die Karburierung erfolgt in Ländern, welche Petroleumrückstände billig zur Verfügung haben, auf heißem Wege, indem man jene während des Gasmachens in einen dem Wassergasgenerator angeschlossenen, mit Schamottesteinen ausgefüllten und zum Glühen erhitzten Regenerator einspritzt. Auf kaltem Wege wird das Karburieren in der Weise vorgenommen, daß man das Gas über leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe, namentlich Benzol, leitet, so daß es sich dabei mit den Dämpfen derselben sättigt.

Dementsprechend erfolgt auch die Herstellung dieses Mischgases in ersterem Falle gewöhnlich in der Weise, daß man das karburierte Wassergas dem Leuchtgas vor den Wäschern zusetzt. Wird dagegen Benzol zur Karburierung verwendet, so nimmt man diese auch erst im fertigen Mischgase vor.

Obwohl daher das Wassergas deshalb in der Gasindustrie derzeit meist nur als Zusatz zum Leuchtgas benutzt wird, spielt dasselbe dabei dennoch eine bedeutende Rolle. Leybold faßte schon 1898 die für seine Verwendung sprechenden Gründe zusammen wie folgt:

1. Die Anlagekosten sind wesentlich geringer als bei Steinkohlengas und betragen etwa ein Fünftel derjenigen einer Gasanstalt von gleicher Größe. Dementsprechend fallen auch Amortisation und Verzinsung niedriger aus.
2. Der Bedarf an Grundfläche ist gleich einem Drittel des einer Steinkohlengasanstalt.
3. Der Gaskoks erlangt, in Leuchtgas verwandelt, einen höheren Preis, als wenn er zu Heizzwecken verkauft wird. Setzt man dem Leuchtgas 75 % karburiertes Wassergas zu, so bleibt kein Koks zum Verkauf mehr übrig. Durch die Verwendung eines Teils des erzeugten Kokses zur Wassergasproduktion verringert sich der Raumbedarf für den Koks und das anzukaufende Kohlenquantum, mithin auch der Raumbedarf für letzteres.
4. Nebenprodukte fehlen beim Wassergas, und dies macht eine systematische Waschung des Gases überflüssig. Etwaiger Ölgasteer wird dem Kohlenteer beigemischt oder unter den Dampfkesseln verbrannt.

* An das Mondsche Gas schließt sich ein Mischgas an, welches in den von Duff (Liverpool) konstruierten Großgeneratoren in Anlagen erzeugt wird, von denen die größten der Firma Armstrong in Manchester und Parkhead-Stahlwerke in Glasgow täglich 200 t aschenreicher und minderwertiger Kohle vergasen und dabei täglich pro Tonne Kohle 35—50 kg Ammoniumsulfat gewinnen. Die Duffschen Generatoren haben nicht nur für Zentralen, sondern auch für Glasfabriken in England und Amerika Eingang gefunden.

5. Schwefelverbindungen sind in nur sehr geringer Menge im Wassergas enthalten; die Eisenreinigung braucht daher nicht so groß wie beim Kohlengas zu sein. Auch läßt sich ein hoher Schwefelgehalt des Kohlengases durch Wassergaszusatz herabdrücken.

6. Die Eigenleuchtkraft des Mischgases läßt sich in wenigen Minuten nach Belieben ändern.

7. Die Inbetriebsetzung der Wassergasanlage erfordert etwa 4 Stunden gegen 2 bis 4 Tage bei Retortenöfen. Verwendet man glühenden Koks, so braucht man nur 3 Stunden. Über Nacht, sogar 36 Stunden lang kann der Generator stillgesetzt und darauf durch dreiviertelstündiges Blasen wieder betriebsfertig gemacht werden.

8. Zur Bedienung einer Wassergasanlage sind nur sehr wenig Leute nötig, und die Arbeit ist so leicht, daß sie eventuell von jungen Burschen verrichtet werden kann. Ein Mann kann 1—2 Generatoren dauernd versehen und damit 20000—40000 m^3 Gas erzeugen. In Belfast stellen 24 Mann täglich 170000 m^3 Wassergas her, während für die gleiche Menge Kohlengas vorher 340 Mann erforderlich waren.

Da die erwähnte Karburation mit Petroleumrückständen oder mit Benzol usw. umständlich und mit beträchtlichen Kosten verbunden ist, wurde von Lawes hierzu das sogenannte Autokarburations-Verfahren (D. R. P. 130112) in Vorschlag gebracht. Nach demselben leitet man durch die Retorten während der Destillation einen Wassergasstrom hindurch; zufolge der so bewirkten Verdünnung und Verdrängung des Retortengases sollte der sekundäre Zerfall der schweren Kohlenwasserstoffe verhindert und so eine nachträgliche Anreicherung des Mischgases mit Benzol ganz oder doch größtenteils überflüssig werden.

Vielfache Überprüfungen dieses Verfahrens ergaben jedoch schließlich nicht für dasselbe sprechende Resultate. So fand insbesondere Brown, daß durch die Autokarburation in den meisten Fällen die Gasausbeute und auch die Ausbeute an Wärmeeinheiten sinkt; auch bei Verwendung von noch heißem Wassergas konnte kein Gewinn erzielt werden.

Es ist daher nach den bisherigen Erfahrungen vorteilhafter, das Wassergas anstatt in die Retorten in die Vorlage einzuleiten, wodurch zwar die Gasausbeute sinkt, dagegen die Wärmeausbeute steigt, wahrscheinlich infolge Vermehrung der schweren Kohlenwasserstoffe. Auch die Teerausbeute scheint dabei zuzunehmen.

Um ein Beispiel für eine derartige kombinierte Anlage zu geben, seien hier schließlich noch einige Worte über die 1904 erbaute Wassergasanstalt im Wiener städtischen Gaswerk, damals die größte am europäischen Festlande, angeführt. Die Gründe für die Errichtung derselben an Stelle einer Erweiterung des Ofenhauses waren folgende:*

Eine Erweiterung des Ofenhauses um 30 Öfen, wodurch die Leistungsfähigkeit desselben um ungefähr 72000 m^3 pro Tag gesteigert worden wäre, hätte rund 2 Millionen K. Baukosten erfordert. Sie hätte mit sich gebracht, daß größere Kohlenvorräte hätten beschafft und gelagert werden müssen, daß eine bedeutende Vermehrung der Arbeiterzahl notwendig geworden wäre, daß der Anfall von Nebenprodukten der Kohlengaserzeugung, insbesondere Koks, eine Steigerung erfahren hätte, welche vom Standpunkt der Verwertung derselben nicht wünschenswert erschien.

Die Baukosten einer Wassergasanlage mit einer Leistungsfähigkeit von 70000 bis 100000 m^3 in 24 Stunden stellten sich hingegen nur auf 1 Million K., eine vermehrte Kohlenbeschaffung und Kohlenlagerung entfällt, weil zur Wassergaserzeugung der in der Kohlengasanstalt gewonnene Koks in zweckmäßigster Weise Verwendung findet. Der Betrieb der Anlage erfordert nur eine geringe Anzahl von Arbeitern, und an Neben-

* Siehe die hierüber 1904 erschienene Broschüre.

produkten wird nur Teer, und dieser in nicht erheblicher Menge, erzeugt. Dazu kommt noch der große Vorteil einer Wassergasanstalt, der darin besteht, daß der Betrieb derselben sehr leicht dem jeweiligen Gasbedarf folgen kann. Dies ist deshalb besonders wichtig, weil zur Deckung des nach den jeweiligen Witterungs- und Temperaturverhältnissen oft rasch wechselnden Gasbedarfs zu Beleuchtungs- und Heizzwecken bei ausschließlichem Kohlengasbetriebe große Reserven angeheizter Öfen notwendig sind.

Diese Bereitstellung von Ofenreserven muß geschehen, weil die Inbetriebsetzung kalter Öfen ungefähr 14 Tage erfordert. Eine Wassergasanlage aber ist in 3 bis 4 Stunden gaserzeugungsfähig und kann ohne nennenswerte wirtschaftliche Verluste innerhalb weiter Grenzen zur jeweilig erforderlichen Leistung herangezogen werden, eine Eigenschaft, die eine Kohlenleuchtgasanlage nur in sehr beschränktem Maße besitzt.

Die Anlage besitzt eine Leistungsfähigkeit von 100000 m^3 in 24 Stunden. Die Gaserzeugungsapparate bestehen im wesentlichen aus drei Gruppen, deren jede aus zwei Generatoren (Zwillingsgenerator), einem Karburator, einem Überhitzer, einer Wäschervorlage und einem Skrubber zusammengesetzt ist. Den drei Gruppen gemeinsam ist eine Kühleranlage.

Die (heiße) Karburation des Wassergases erfolgt mittels des Karburators und Überhitzers durch Öl, welches bei der Raffinierung des Rohpetroleums als Nebenprodukt gewonnen wird, und das karburierte Gas nimmt mit dem aus dem Ofenhause kommenden Kohlenleuchtgas seinen Weg durch alle Apparate des Werkes.

AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT. Die Ergebnisse des im vorhergegangenen Erörterten könnten in folgenden Sätzen resümiert werden:

Die direkte Verbrennung der Steinkohle am Rost sowie ihre Vergasung zu Generatorgas sind selbst bei technisch vollkommenster Durchführung der Prozesse nicht als die wirtschaftlich günstigsten zu bezeichnen, und sollen deshalb diese Verwendungsarten so viel als möglich eingeschränkt werden. Für die Gegenwart und die nächste absehbare Zeit stellen sich als die wirtschaftlich günstigsten Ausnutzungsarten der Steinkohle einerseits die Leuchtgasgewinnung in Retorten oder Kammern, jedoch kombiniert mit der Wassergaserzeugung, dar, anderseits die vervollkommnete Koksgewinnung, also Destillationskokerei mit Gewinnung sämtlicher Nebenprodukte. Nach beiden Methoden werden wir voraussichtlich ein Gas erzeugen können, das sowohl hinsichtlich seiner Eigenschaften, also Heizeffekt und Verbrennungstemperatur, als auch hinsichtlich des Preises sich für Beleuchtungs-, Heiz- und motorische Zwecke eignet, weshalb diese Industrien voraussichtlich die Leucht-, Heiz- und Kraftzentralen der nächsten Zukunft darstellen werden. Ob sie ineinander verschmelzen, läßt sich derzeit nicht mit Bestimmtheit behaupten.

Namentlich in den Städten kann die Ruß- und Rauchplage nur durch die ausschließliche Verwendung von Koks und Steinkohlengas bekämpft werden, und es empfiehlt sich hierfür nach Bunte die Devise: „Heize mit Koks und koche mit Gas!"

5. STEINKOHLENTEER*

Es ist noch nicht allzulange her, daß man die braunschwarze teerige Masse, welche sich bei der trockenen Destillation der Steinkohlen ergab, als eine höchst lästige Beigabe dieses Fabrikationszweiges ansah, doch heute stellt diese ein wichtiges Ausgangsmaterial für viele Stoffe dar, so daß man wohl sagen kann, das Studium der Teerprodukte ist ein Lieblingsgegenstand der Chemiker geworden.

* Die von mir benutzte Literatur ist an anderer Stelle namhaft gemacht. (Ulrich.)

In der alten Pflegestätte für organische Chemie, die Justus von Liebig in Gießen geschaffen, hat sich bereits im Jahre 1845 A. W. von Hofmann mit der Untersuchung des Teers, und zwar mit dem Nachweis des Benzols in demselben, beschäftigt und somit die ersten Grundlagen jener großen Industriezweige geschaffen, welche viele Millionen Kapital fruchtbringend verwerten ließen, um durch chemische Umbildung der Teerprodukte jene Fülle von Körpern zu gestalten, mit denen sich die Leiden der Menschen lindern lassen, von denen manche den Duft unserer Blüten besitzen, während andere als vorzügliche Farbstoffe oder als Entwickler in der Photographie und zu vielen anderen Zwecken dienlich sind.

So ist aus dem lästigen Nebenprodukt ein für unser modernes Leben hochwichtiger Ausgangsstoff entstanden, ohne welchen wir uns viele Errungenschaften der Gegenwart nicht zu denken vermögen. Viele der Produkte, welche in ihrer Summe uns die Teermasse der Steinkohle darstellen, sind uns heute bereits bekannt, und doch müssen wir zugeben, daß ein großer Teil der die Teermasse bildenden chemischen Individuen noch der wissenschaftlichen Durchforschung* bedürfen.

A. Spilker hat in seinem wertvollen Buche: „Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle" (1908), eine Zusammenstellung der im Steinkohlenteer mit Sicherheit aufgefundenen chemischen Verbindungen, geordnet nach ihrem Siedepunkte, gegeben, welche wir im Nachstehenden wiedergeben, um so ein Bild über die große Zahl bereits isolierter Körper zu bieten.

Name	Formel	Siedepunkt 760 mm D °C	Schmelzpunkt °C	Literatur
Pentan	C_5H_{12}	37	—	Ann. 125. 105; 172. 281**
Zyklopentadien	C_5H_6	41	—	Ber. 29. 552
Schwefelkohlenstoff	CS_2	47	—	Ann. 172. 28
Azeton	C_3H_6O	56	—	Ber. 20. 411
Hexan	C_6H_{14}	69	—	Ann. 102. 127, 125. 107, 172. 281
Hexen	C_6H_{12}	69	—	Ann. 108. 384
Azetonitril	C_2H_3N	79	— 41	Bull. soc. chim. Paris 33. 405 u. 519
Benzol	C_6H_6	81.1	+ 5	Ann. 55. 204
Tetrahydrobenzol	C_9H_{10}	83	—	Spilker
Dihydrobenzol	C_6H_8	84	—	Spilker
Thiophen	C_4H_4S	84	—	Ber. 17. 1471
Heptan	C_7H_{16}	98	—	Ann. 161. 263. Chem. Ztg. 1889, S. 1108
Hepten	C_7H_{14}	98	—	Lunge: „Steinkohlenteer", 3. Aufl. S. 95
Wasser	H_2O	100	0	
Toluol	C_7H_8	111	—	Chem. Soc. Quart. Journ. 1. 244
Thiotolen	C_5H_6S	113	—	Ber. 17. 787
Pyridin	C_5H_5N	117	—	Jahresber. f. Chem. 1854, 492**
Pyrrol	C_4H_5N	133	—	Ann. 80. 63
Äthylbenzol	C_8H_{10}	134	—	Ber. 24. 1955

* In dieser Richtung sind unter anderen die Arbeiten von Gustav Schultz, Spilker, Kraemer, Dombrowsky, Weißgerber, Decker, Dunant, Weger, Trobridge Ahrens & Leo v. Mozdzenski, Boes, Börnstein u. a. m. von Bedeutung.

** Benutzte Kürzungen: Ann. = Liebigs Annalen der Chemie; Ber. = Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft; Bull. soc. chim. Paris = Bulletin de la société chimique de Paris; Journ. f. pr. Chem. = Journal für praktische Chemie; Ann. chim. phys. = Annales de Chimie et de Physique; Compt. rend. = Comptes rendus de l'Academie des sciences (Paris); Jahresber. f. Chem. = Jahresberichte für Chemie; Journ. f. Gasbel. = Journal für Gasbeleuchtung; Polyt. Journ. = Polytechnisches Journal.

Name	Formel	Siedepunkt 760 mm D °C	Schmelzpunkt °C	Literatur
α-Picolin	C_6H_7N	135	—	Ann. 60. 86
Thioxen	C_6H_8S	137	—	Ber. 17. 2852
β-Picolin	C_6H_7N	138	—	Ber. 16. 2976, 20. 413, 21. 285
p-Xylol	C_8H_{10}	138	—	Ann. 136. 303, 147. 15, 153. 265
m-Xylol	C_8H_{10}	139	—	Ebenda
o-Xylol	C_8H_{10}	143	—	Ber. 10. 1010
α-γ-Lutidin	C_7H_9N	143	—	Ber. 29. 2996
Styrol	C_8H_8	145	—	Ann. 1867. Suppl 5. 367, 23. 3276
α-γ-Lutidin	C_7H_9N	157	—	Ber. 16. 2976, 20. 413
Mesitylen	C_9H_{12}	164	—	Ber. 20. 410, Ann. 139. 184
Trimethyl pyridine (vsch.)	$C_8H_{11}N$	165—168	—	Ber. 29. 2998
Pseudocumol	C_9H_{12}	168	—	Ann. 139. 184
Kumaron	C_6H_6O	169	—	Ber. 23. 78
Decan	$C_{10}H_{22}$	170—171	—	Ann. 184. 179
Dizyklopentadien	C_9H_{12}	170	40.5	Ber. 29. 552
Hydrinden	C_9H_{10}	174	—	Ber. 16. 1538
Hemellitol	C_9H_{12}	175	—	Ber. 19. 2517
Inden	C_9H_8	178	—	Ber. 23. 3276
Anilin	C_6H_7N	182	— 8	Ann. 31. 65, 32. 331
Phenol	C_6H_6O	184	41	Ann. 21. 69, 32. 308
o-Kresol	C_7H_8O	187	32	Journ. f. pr. Chem. 1876, 442***
Methylkumaron	C_9H_8O	189—191	—	Spilker
Durol	$C_{10}H_{14}$	190	80	Ann. 18. 3034. Ber. 18. 3032, 20. 409
Methylinden	$C_{10}H_{10}$	195—200	—	Spilker
Benzonitril	C_7H_5N	196	—	Ber. 23. 78
Toluidine (versch.)	C_7H_9N	197—199	—	Spilker
p-Kresol	C_7H_8O	201	36	Ber. 20. 410
m-Kresol	C_7H_8O	202	+ 3	Ebenda
Tetrahydronaphthalin	$C_{10}H_{12}$	204	—	Spilker
Naphthalin	$C_{10}H_8$	218	80	Ann. 7. 104
Xylenole (versch.)	$C_8H_{10}O$	220—225	75	Ber. 20. 410
Isochinolin	C_9H_7N	236	28	Ber. 16. 452
Chinolin	C_9H_7N	239	—	Ber. 16. 1082
β-Methylnaphthalin	$C_{11}H_{10}$	242	33	Ber. 17. 842
α-Methylnaphthalin	$C_{11}H_{10}$	243	—	Ebenda
Paraffin	$C_{18}H_{38}$	250	20	Ber. 20. 410
Diphenyl	$C_{12}H_{10}$	254	70.5	Ann. 121. 361, Ber. 18. 1203
Methylchinoline (versch.)	$C_{10}H_9N$	240—260	—	Ber. 16. 1082
Azenaphthen	$C_{12}H_{10}$	278	95	Ann. chim. phys. [4] 12. 226*
α-Naphthol	$C_{10}H_8O$	280	96	Ann. 227. 143
β-Naphthol	$C_{10}H_8O$	294	123	Ebenda
Fluoren	$C_{13}H_{10}$	295	113	Compt. rend. 65. 465*
Phenanthren	$C_{14}H_{10}$	340	99	Ber. 6. 861. Ann. 146. 361
Karbazol	$C_{12}H_9N$	355	238	Ann. 163. 343, 170. 88
Anthrazen	$C_{14}H_{10}$	360	213	Ann. chim. phys. [3] 150. 187
Hydroacridin	$C_{13}H_{11}N$	über 360	169	Spilker
Acridin	$C_{13}H_9N$	„ 360	107	Ber. 5. 15. Journ. f. pr. Chem. 2. 183
Methylanthrazene (vsch.)	$C_{15}H_{12}$	„ 360	208—210	Ber. 7. 1185, 10. 1049
Fluoranthen	$C_{15}H_{10}$	„ 360	109	Ber. 11. 2141
Pyren	$C_{16}H_{10}$	„ 360	148	Ann. 158. 285
Chrysen	$C_{18}H_{12}$	436	250	Ann. chim. phys. [2] 66. 136
Phenylnaphthylkarbazol	$C_{16}H_{11}N$	über 440	330	Ber. 12. 341, 2241
Bitumen	$C\,H_x$	—	—	Chem. soc. journ. 37. 714
Kohlenstoff (?)	C	—	—	Journ. f. Gasbel. 1887. Polyt. Journ. 270. 133

Wie bereits bei der Gaserzeugung aus Steinkohle erwähnt, hängt die Beschaffenheit des Teers nicht nur von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, der Kohle, selbst ab, vielmehr spielen hierbei eine ganze Reihe von Faktoren, die sich bei der Destillation geltend machen, mit. Wenn auch schon seit langem bekannt ist, daß einzelne der in der Kohle enthaltenen chemischen Verbindungen jedenfalls die eigentümlichen ringförmigen Gruppierungen der Kohlenstoffe wie im Benzol aufweisen, so steht die Bildung eines großen Teils der im Teer enthaltenen Benzolabkömmlinge bzw. der aromatischen Verbindungen durch Molekularkondensation einfacher Verbindungen außer Zweifel. Es ist jedenfalls auch das Entstehen der höher molekularen Verbindungen auf die Wirkung höherer Temperaturen auf Benzol oder analoge Körper zurückzuführen.

Durch Sauerstoffwirkung können sich Phenole bilden, von denen die einfachen bei höheren Temperaturen, diejenigen aber, welche noch Seitenketten enthalten, wie zum Beispiel Methylgruppen usw., bei relativ niedrigen Temperaturen entstehen. Die Bildung von Benzolderivaten kann somit entweder auf einen Zerfall komplizierterer, bereits Benzolringe enthaltender Körper zurückgeführt werden oder auf die oben erwähnten Aufbaureaktionen, bei welchen der Zusammentritt von Kohlenwasserstoffen mit Azetylenbindung die Ursache der Bildung von Benzolringen sein kann. Die letztere der Hypothesen ist als Nebenreaktion aufzufassen. Harze in der Kohle könnten endlich auch als Ausgangsprodukte für die Bildung von Benzolderivaten bei der trockenen Destillation der Kohle in Frage kommen. Daß natürlich auch andere Vorgänge bei der Destillation sich abspielen werden, steht ebenso außer Zweifel. So dürfte die in den Arbeiten von Krämer im Verein mit Spilker, Eberhardt und Klotz aufgestellte Hypothese der pyrogenen Kondensationen des Ersatzes eines doppelt gebundenen Sauerstoffes durch Benzol, Naphthalin und anderen derartigen Derivaten eben gleiche Bedeutung zukommen wie der Bildung hochsiedender Kohlenwasserstoffe, wie sie K. F. Schulze annahm. Das Vorhandensein hauptsächlich von Metaverbindungen ist wohl schon deshalb erklärlich, da diese gegen hohe Temperaturen von den isomeren Verbindungen die beständigsten sind.

Der Ursprung der Teere hat, wie bereits oben bemerkt, auf deren Zusammensetzung einen so wesentlichen Einfluß, daß es gestattet sei, an dieser Stelle kurz auf die Herkunft der Teere hinzuweisen. Wie schon in einem der vorstehenden Abschnitte dieses Werkes geschildert, wird Steinkohlenteer auch bei der Verkokung der Kohle gewonnen und weicht die Zusammensetzung des Koksteers von jener der Gasteere ganz wesentlich ab, was aus folgender Zusammenstellung ersehen werden kann.

In dem bekannten Handbuch „Die Industrie des Steinkohlenteers" von Lunge und Köhler finden sich (auf S. 87) die nachstehenden Analysenresultate von Teer derselben Kohle, welche einmal in gewöhnlichen Retorten in einer Gasfabrik (A.), das andere Mal in Ottoschen Koksöfen destilliert wurde (B.).

	A.	B.
Wasser	2,9	2,2
Leichtöl bis 200°	4,0	3,4
Anilinbenzol	0,92	1,1
Auflösungsnaphtha	0,20	0,32
Kreosotöl	8,6	14,5
Rohnaphthalin	7,4	8,7
Anthrazenöl	17,4	27,3
Rein-Anthrazen	0,60	0,70
Pech	58,4	44,4
Kohlenstoff	15—25	5—8

Teer wird aber auch aus den Gasgeneratoren, ferner aus Hochöfengasen gewonnen. Die Hochofenteere speziell sind reich an Phenolen, deren Gehalt 25—35 % beträgt.

Eine weitere Quelle für Teer ist die Wassergaserzeugung, bei welcher durch Zersetzung gebildeter Dämpfe — im wesentlichen von Fettkörpern — bei höherer Temperatur (Ölgaserzeugung) Teer entsteht. Die Zusammensetzung der Ölgasteere weicht von jener der Steinkohlenteere natürlich beträchtlich ab. Die Menge an Benzol ist gegenüber jener an Toluol und Homologe geringer. Die Ölgasteere enthalten überdies Olefin- und Azetylenkohlenwasserstoffe, daneben weisen sie noch einen Gehalt an Naphthalin auf. Es ist wohl selbstverständlich, daß auch bei den Ölgasteeren die Zusammensetzung derselben von dem Ausgangsmaterial abhängt. Auch die Erdölrückstände liefern bei ihrer Destillation einen Teer.

Für die Verarbeitung der Teere kommt, je nach den beabsichtigten Zielen, ihr Gehalt an den einzelnen Derivaten in Frage. Steinkohlenteere werden hauptsächlich zur Benzol-, Toluol-, Naphthalin-, Anthrazen- und Phenolgewinnung u. a. m. verwertet, während wieder andere, wie die Braunkohlenteere, für die Gewinnung von Paraffinen, Brenn- und Schmierölen Bedeutung haben können. Die ersteren sind die wertvolleren, während bei letzteren die Verwertung in ökonomischer Beziehung oft sehr problematisch werden kann.

Wenn Benzol viel nicht nitrierbare Öle enthält, sowie paraffinreiches Anthrazen, so ist es für die Teerfarbenfabrikation ziemlich wertlos. Relativ große Bedeutung kommt heute dem Steinkohlenteer, welcher bei der Kokserzeugung als Nebenprodukt gewonnen wird, zu.

VERWERTUNG DES STEINKOHLENTEERS. Die teerigen Produkte der trockenen Destillation als organische Körper von mehr oder weniger dickflüssiger, öliger, zäher Beschaffenheit und brauner bis schwarzer Farbe, kommen in wasserhaltigem Zustande zur Verarbeitung. Das spezifische Gewicht des Teers schwankt zwischen 1,08—1,2 und darüber. Wie bereits oben bemerkt, ist die Qualität des Teers von der zur Vergasung benutzten Kohle, von der Art der Durchführung der trockenen Destillation und noch von einer Reihe anderer Faktoren abhängig.

So sind die Teere, die sich bei Verwendung von Vertikalöfen ergeben, durch geringen Naphthalin-, aber hohen Ölgehalt ausgezeichnet und können geradezu zur Naphthalinentfernung aus Gasen oder infolge ihres hohen Heizwertes zur Feuerung oder zum Betriebe von Gasmotoren Verwendung finden. Durch die Einführung der Generatorfeuerung bei der Gasbereitung sind die Teere insofern um weniges minderwertig geworden, als sie trotz höheren spezifischen Gewichtes nicht reicher an jenen Produkten sind, die in erster Linie für die spätere Verarbeitung der Teere Bedeutung haben. Zur Verarbeitung selbst gelangen neben Gas- und Koksteeren heute noch Hochofen- und Ölgasteere.

Im rohen Zustande wird der Steinkohlenteer zum Imprägnieren bzw. Anstreichen von Holz, Steinen, Ziegeln usw. benutzt. Die genannten Materialien erweisen sich dann gegen den Einfluß von Atmosphärilien widerstandsfähig. Das Aufbringen des Teers erfolgt entweder durch Aufstreichen in erhitztem Zustande oder indem man die zugerichteten Steine in Gasteer kocht. Auch Dachziegel können auf diese Weise wesentlich wetterbeständiger gemacht werden, indem man dieselben noch heiß, wie sie aus dem Ofen kommen, in den wasserfreien erwärmten Teer eintaucht. Daß Gußeisenrohre, welche für die Weiterleitung von Gas benutzt werden, durch einen Überzug mit heißem Teer widerstandsfähiger gemacht werden, ist wohl allgemein bekannt; hierzu werden aber auch Firnisse aus Pech- und Teerölen benutzt. Zum Kon-

servieren des Holzes ist der Holzteer als besser in die Poren des Holzes eindringend dem Steinkohlenteer vorzuziehen, wiewohl gerade den Steinkohlenteerölen infolge ihres Gehalts an neutralen hochsiedenden Bestandteilen eine hohe desinfizierende und konservierende Wirkung zukommt. Der Gehalt an größeren Mengen fester kohliger Anteile sowie an Naphthalin ist ein Übelstand, der sich gerade bei der obengenannten Verwendung des Steinkohlenteers zum Imprägnieren von Holz in den Weg stellt. Wir werden später sehen, daß andere Präparate den Teer für die Holzkonservierung zum Teil verdrängt haben.

Die ersten Versuche, Teer zur Konservierung des Holzes zu benutzen, sind bereits von P. Le Bon 1799 unternommen worden.

Auf die Verwertung von Teer und Teerölen als Lösungsmittel in der Kautschukwaren-Industrie u. a. m. sei verwiesen. Dort, wo infolge hoher Transportkosten eine lukrative Verwertung des Teers ausgeschlossen erscheint, hat die Verwendung des Teers als Heizstoff bzw. die Erzeugung von Gasen aus demselben sich noch heute erhalten. Als Heizmaterial läßt er sich infolge seiner flüssigen Form mittels gut konstruierter Streudüsen verwerten, um so mehr, als sein Kalorienwert mehr als 8000 beträgt. In dieser Form kann er vor allem zum Heizen der Gasretorten benutzt werden. Bei den meisten dieser Verbrennungsapparate für Teer sind hauptsächlich zwei Prinzipien vorherrschend: entweder sucht man durch Einführung von komprimierter Luft oder Dampf den Teer mitzureißen und zu zerstäuben, um hierdurch eine möglichst feine Verteilung des Teers und hierdurch seine völlige Verbrennung zu erreichen, oder man bringt Teer durch Aufträufeln auf glühenden Koks zur Verbrennung. In den meisten Fällen muß natürlich der Teer zu diesen Zwecken vorgewärmt werden. Da sich hierbei intensiv heiße Stichflammen ergeben, müssen Kesselwände usw. durch feuerfeste Schirmwände vor der unmittelbaren Berührung mit der Flamme bewahrt werden.

Es hat natürlich auch nicht an Versuchen gefehlt, die Ausmauerung mit feuerfesten Steinen durch geeignete Einrichtungen zu umgehen. So hat Seigle die aus dem flüchtigen Brennstoff erzeugte Flamme in mit Wasser umgebene Heizrohre getrieben. Das System gestattet eine rasche vollständige Verbrennung ohne jede Rauchentwicklung. Auch ist ein Schornstein diesfalls nicht notwendig. Diese Andeutungen, welche allerdings kein vollständiges Bild der angeschnittenen Frage bieten, mögen genügen, um zu zeigen, daß die Verwendung von Teer auch in diesem Falle von Vorteil sein kann.

Große Vorteile gewähren diese Einrichtungen bei der Heizung von Lokomotivkesseln, wo zu den oben gekennzeichneten Vorteilen noch folgende kommen: bei richtiger Luftzufuhr ist die Verbrennung rauchlos, und bei Ruhepausen kann durch Abstellung der Ventile die Dampferzeugung ebenso rasch unterbrochen wie dann auch wieder aufgenommen werden. In Südrußland werden die Lokomotivkessel mit Rückständen der Petroleumdestillation so geheizt.

Immerhin ist es aber fraglich, ob nicht bei Einführung der Teerverbrennung vorher eine gründliche Reinigung des Teers von den festen Bestandteilen desselben erfolgen müßte. Es fragt sich, ob es nicht nach dem Vorschlage von Krämer rationell wäre, nur die minderwertigen Teere zur Verbrennung zu bringen. Gegenüber Koks steht der Heizwert des Teers wie 1 : 1,2. Erwähnt sei noch die Verwertung des Teers für Gaskraftmaschinen.

Endlich sei der Darstellung von Koks aus Teer durch Einführung desselben in auf Weißglut erhitzte Retorten sowie der Herstellung von Kunststeinen (z. B. Dörrit)

gedacht. Große Hoffnungen werden auf die Verwendung von Teer als staubbindendes Mittel auf Straßen gesetzt. Man bedient sich hierfür zweier Methoden, indem man entweder neue Straßen aus geteertem Straßenbaumaterial herstellt oder bereits bestehende Straßen oberflächlich teert. Zu dem letztgenannten Verfahren benutzt man Maschinen, welche den Teer mittels Druckes von 14—17 Atmosphären in die Kiesschicht bis zu einer Tiefe von 76—127 mm auf- bzw. einspritzen.

DIE VERGASUNG DES STEINKOHLENTEERS. Die Vergasung der Teere wurde mehrfach versucht, und zwar in der Weise, daß man entweder Teer durch Durchleiten durch glühende Rohre zur Vergasung brachte oder erst destillierte und die sich bildenden Dämpfe vergaste; endlich indem man Teer mit Kokosmehl bzw. Sägespänen vergaste. Nach einem anderen Vorschlage hat man die gesammelten Destillationsprodukte der Steinkohle nach dem sogenannten Diesmoreprozeß dadurch zu vergasen gesucht, indem man die so gesammelten Gase durch eine glühende Retorte führte.

Alle die genannten Methoden haben aber keine günstigen Resultate ergeben, da dem Teer nicht jene lichterzeugenden Substanzen zur Verfügung stehen, welche wir mit Hilfe der trockenen Destillation aus der Steinkohle zu gewinnen vermögen. Es ließe sich allerdings nach der Entfernung von Pech, Naphthalin und Anthrazen ein brauchbares Ausgangsmaterial für die Vergasung gewinnen; doch dürfte auch diese Methode sich kaum für den eben erwähnten Zweck eignen.

Für die bereits vor mehr als hundert Jahren eingeführte Dachpappe hat sich die Verwendung des Steinkohlenteers besonders gut geeignet. Die früher üblichen Methoden der Herstellung der Dachpappen sind heute völlig veraltet und werden zu diesem Zwecke entweder entwässerte Teere oder sogenannte präparierte Teere (Steinkohlenteerpeche, welche mit Schmieröl verdünnt wurden), in Anwendung gebracht. Die ersteren eignen sich besser zur Herstellung von Dachpappe, während die letzteren zur Konservierung der Pappdächer vorteilhafter sind. Das Imprägnieren wird auf Pfannen vorgenommen. Durch diese wird die rohe Pappe auf Walzen geführt, abgequetscht bzw. abgerieben, mit Sand bestreut und auf eine Wickelwalze aufgewickelt. Das Bestreuen mit Sand erfolgt mittels eines selbsttätigen Sandstreuapparates. Die Temperatur des Teers muß ungefähr auf 95—100° gehalten werden, um eine gleichmäßige Imprägnierung zu erreichen. Die Verwendung der Dachpappe ist bekanntlich eine vielseitige — nicht nur daß man dieselbe als Bedachungsmaterial verwendet, sie findet auch als Unterlage unter anderem Bedachungsmaterial, ferner als Isolierschicht bei Fundamentmauerwerken eine immer größere Aufnahme. Mitunter sucht man durch Zumischung von Schwefel und Harzen zum Teer die Dachpappe bzw. geteerte Filzstreifen, welche als Isoliermaterial dienen, elastischer, weniger spröde zu machen. Unter anderem hat man als Dichtungsmaterial nach einem Vorschlage von A. Eiseler ein Gemisch von Knochenkohle und Gespinstfasern, welche mit rohem Steinkohlenteer unter Druck durchtränkt werden, in Anwendung gebracht. Daß es nicht an Versuchen gefehlt hat, die antiseptischen Eigenschaften des Teers zu benutzen, sei nebenbei erwähnt. Auf die Verwendung des Steinkohlenteers zur Rußfabrikation können wir nur kurz verweisen, um so mehr, als heute nichtdestillierte rohe Steinkohlenteere zu diesem Zwecke kaum mehr in Anwendung kommen.

DESTILLATION DES STEINKOHLENTEERS. Die ersten diesbezüglichen Versuche liegen weiter zurück, als allgemein angenommen werden dürfte. Ungefähr um die Mitte des vorvorigen Jahrhunderts sind von Henry Haskins derartige Versuche bereits angestellt worden. Die erste Teerdestillation wurde bei Leith im Jahre 1822

errichtet. Größere Bedeutung erlangte diese Industrierichtung erst durch die Versuche, Benzolderivate zu isolieren. Diese Fortschritte sind mit den Namen Bethell, Brönner und Mansfield u. a. m. eng verbunden.

Die Zufuhr des Teers nach den Teerdestillationsanlagen erfolgt entweder in Petroleumbarrels oder in Zisternenwagen mit einem Fassungsraum von 10000—20000 kg oder dort, wo Wasserstraßen zur Verfügung stehen, in Booten mit einem Fassungsraum von 50 und mehr Tons.

Der Teer wird an Ort und Stelle meistens in Reservoirs gesammelt. Aus diesen wird derselbe nach Abscheidung des Wassers mit Hilfe von Druckpumpen bzw. mit Druckluft mittels Montjus direkt in die Destillierblasen gedrückt. Ohne auf ältere Apparaturen einzugehen, sei erwähnt, daß man heute meist schmiedeeiserne Destillationsgefäße benutzt.

Es liegen allerdings in letzter Zeit Versuche vor, die einer Neugestaltung der Destillationsapparatur für Teer gleichkommen; so hat die de Clercqs-Patent-Gesellschaft zur Fabrikation von Teer- und Dachpappenmaschinen m. b. H. in Berlin sich ein Verfahren schützen lassen, bei welchem ein Heizschlangensystem mit der Feuerstelle in Berührung kommt; dieses Heizschlangensystem ist mit einem geschlossenen Behälter und einer Pumpe in Verbindung. Hierdurch wird ein feuer- und überschäumsicheres Destillieren erreicht, da immer nur ein Teil des Teers mit der Feuerung in näherer Berührung ist.

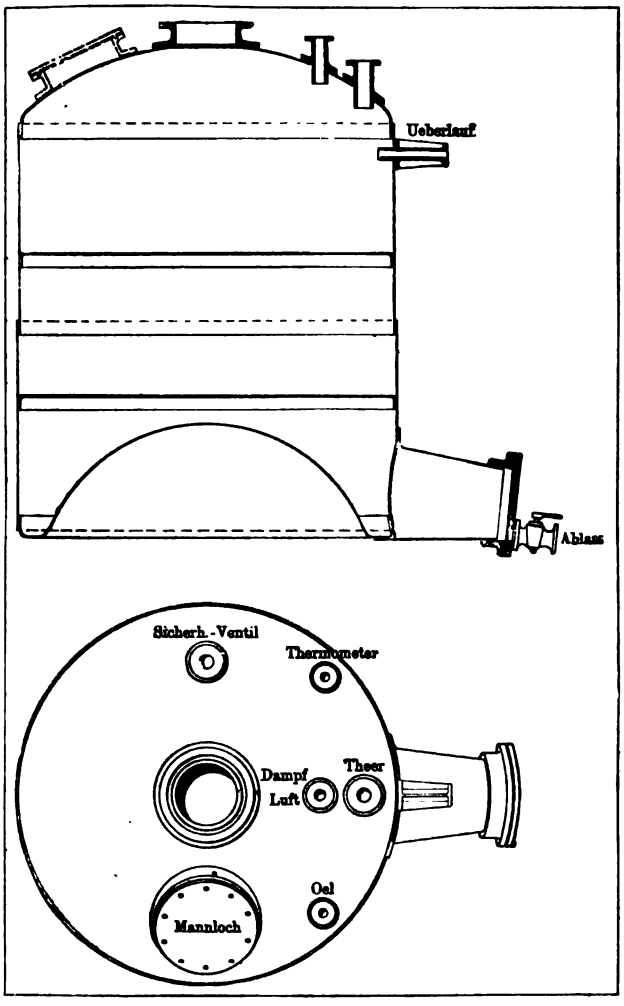


Abbildung 25. Teerdestillationsblase.
(Aus „Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle" von Dr. A. Spilker. Verlag von W. Knapp, Halle a. S.)

Nach Walter-Köhn läßt sich Teer in der Weise vorzüglich destillieren, indem man den vorgewärmten Teer durch eine in einem Dampfbehälter oder einem mit Heißluft beschickten Ofen befindliche Rohrschlange pumpt, in welcher der Teer bei hohen Druckverhältnissen zu vergasen beginnt. Am Ende der Rohrschlange tritt der Teer in einen Raum, welcher unter Vakuum steht, und wird hier bei einer Spannungsreduktion von 20 Atmosphären auf etwa 1/4 Atmosphäre, also bei geringer Wärme total vergast, wodurch einerseits Pech, anderseits die einzelnen Teerölfraktionen gewonnen werden können. Der Apparat soll bei einer Größe von 2 cbm innerhalb 10 Stunden 30000 kg Teer

destillieren. Über diese Fragen berichtete vor einiger Zeit Jürgen Fortmann.*

Doch wenden wir uns der Besprechung der meist gebrauchten Apparatur für die Teerdestillation zu.

Die stehenden Blasen sind von zylindrischer Form und werden nach unten durch einen stark nach innen gewölbten Boden, nach oben durch einen gewölbten Deckel begrenzt. Der Deckel weist außer dem Ansatzstutzen für den Kühler ein Mannloch sowie vier Ansatzrohre zur Verbindung mit der Dampf- bzw. Luftleitung, zur Verbindung mit einem Sicherheitsventil, dann zur Anbringung eines Thermometers wie endlich eine Verbindung der Teerblase mit dem Teerreservoir auf. In der Vorderwand des zylindrischen Teils der stehenden Blase befindet sich ein Überlaufrohr, welches zu Beginn der Destillation ein Zurücklaufen des etwa zuviel eingeführten Teers ermöglicht. Das Mannloch sowie der näher am Boden der Blase angebrachte Ablaßstutzen besitzen einen entsprechenden Durchmesser von ungefähr 400 mm. (Spilker.)

Da die anfangs stark ammoniakalischen Dämpfe Schmiedeeisen angreifen würden, sind die Stutzen nach innen hervorragend und aus Gußeisen hergestellt. Hingegen wählt man alle Verbindungen, welche infolge Temperaturschwankungen in ihrer Festigkeit stark beansprucht werden, aus Schmiedeeisen.

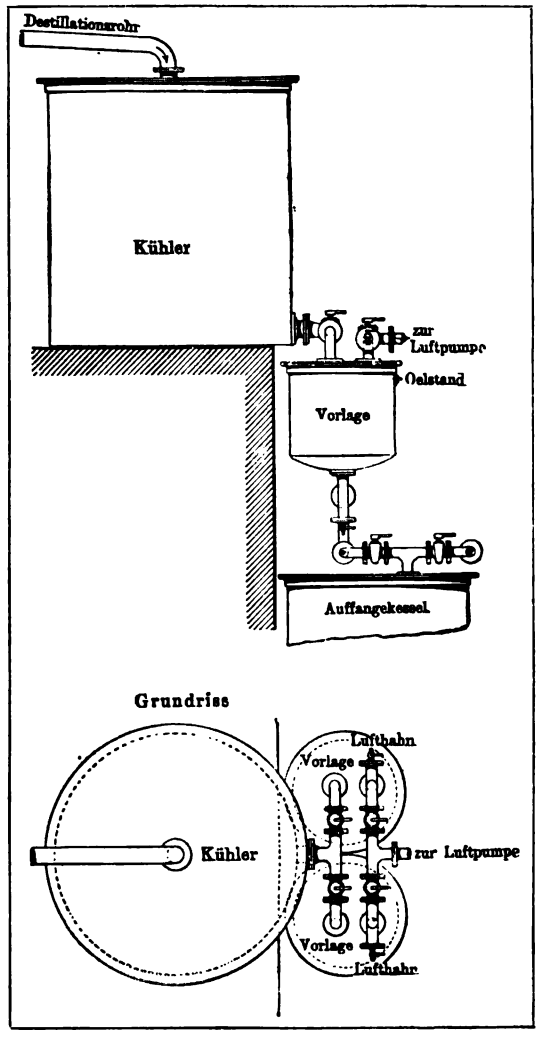


Abbildung 26. Kühlanlage.
(Aus „Kokerei u. Teerprodukte der Steinkohle" von Dr. A. Spilker. Verlag von W. Knapp, Halle a. S.)

Von der Blase führt das Destillationsrohr in den schlangenförmigen Kühler, der aus Gußeisen hergestellt ist. Die Kühlschlange ist mit zwei Wechselvorlagen, welche durch passende Hahnstellung abwechselnd in Benutzung genommen werden können, verbunden. Es wurde von Reichmann der Vorschlag gemacht, solche Kesselanlagen so zu vereinen, daß entweder ein gemeinsamer oder ein Einzelbetrieb der Kessel möglich ist. Eventuell ist bei Entwässerungsretorten auf ihren Deckel direkt eine Kolonne aufgesetzt.

Zu Beginn des Destillationsprozesses wird stark gekühlt, um die sich entwickelnden Gase, den Wasserdampf, welcher die Ammoniumverbindungen mitführt, und die leichtflüchtigen Öle des Teers zu kondensieren.

Seit ungefähr dreißig Jahren wird, um ein Verkoken des Peches zu vermeiden, in Vakuum destilliert. Durch diese Luftverdünnung wird eine Temperaturerniedrigung

* Chemische Zeitschrift, VII (1908), 94.

von etwa 80° erreicht. Die Koksbildung kann übrigens auch durch Anwendung von Wasserdämpfen vermieden werden. Mit den ersten Anteilen des Destillats, welches als Leichtöl bezeichnet wird, gehen auch Wasserdämpfe, Ammoniak, wie oben bereits bemerkt, ferner Kohlensäure und Schwefelwasserstoff über. Diese wässerigen Anteile werden analog den Gaswässern verarbeitet. Um dem Wasser aus der Teermasse, in welche es eingeschlossen ist, einen Ausweg zu schaffen, wurde unter anderem der Vorschlag gemacht, den Teer mittels eines heizbaren Walzenganges zu mahlen.*

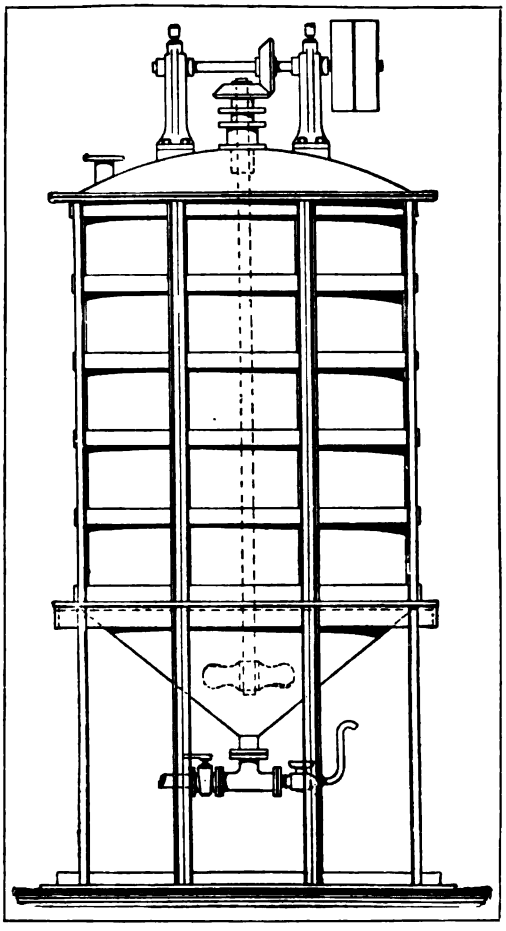


Abbildung 27. Benzolwäscher.
(Aus „Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle" von Dr. A. Spilker. Verlag von W. Knapp, Halle a. S.)

Die Leichtöle zeigen ein spezifisches Gewicht von 0,91—0,95. Nach der Abgabe der Leichtöle wird die Blase reichlicher erwärmt, und nun geht während des sogenannten Kochens des Teers das Mittelöl von 1,01 spezifischem Gewicht über. Nach dem Mittelöl, welches den größten Teil von Naphthalin enthält, destilliert das Schweröl von einem spezifischen Gewicht von 1,04, in welchem die nach ihren Siedepunkten zwischen Naphthalin und Anthrazen liegenden Kohlenwasserstoffe sich befinden. Auf diese folgt das Anthrazenöl, welches ein spezifisches Gewicht von 1,1 aufweist. Bei den letzteren der Fraktionen muß natürlich die Kühlung entsprechend reguliert werden, um eine Verstopfung der Kondensationsanlagen zu vermeiden. In der Retorte selbst verbleibt bei richtig geleiteter Destillation ungefähr etwas mehr als 50 % an Teerrückstand, dem sogenannten Hart- oder Retortenpech, wobei die Destillateure einen Wert darauf legen, daß der Kohlenstoffgehalt des Peches ungefähr jenem des Ausgangsmaterials gleichkomme.

Es hat nicht an Vorschlägen gefehlt, den Teer einer vorhergehenden Reinigung zu unterziehen. So versetzt man unter anderem zur Ausscheidung der freien kohligen Anteile den Steinkohlenteer mit einem halben Volumen an Schwefelkohlenstoff — eine Anwendung hat diese und andere Methoden wohl kaum erfahren. Daß natürlich die Mengen der Destillate sowie deren Zusammensetzung je nach der Qualität der Teere und deren Verarbeitungsweisen sehr variieren, ist selbstverständlich.

Ohne auf alle Aufarbeitungsmethoden der Teerdestillate einzugehen, möchten wir uns gestatten, den Lesern ein Bild der heute meist in Anwendung befindlichen Me-

* Das Entwässern des Teers ist von großer technischer Wichtigkeit für eine gleichmäßig verlaufende Destillation und das bei Beginn derselben auftretende Schäumen. Die Vorschläge, den Teer vorher möglichst zu entwässern, sind so mannigfacher Art, daß für diese Frage auf Spezialwerke über Teerdestillation verwiesen sei.

thoden zu geben. Die Destillate werden, wie bereits oben erwähnt, meist in vier Fraktionen, und zwar in das Leichtöl, Mittelöl und Schweröl und in das Anthrazenöl, geteilt und kommen diese jedes für sich zur Verarbeitung. Das Leichtöl enthält etwa 5—15 % sogenannten Säureöls (Phenol); neben diesem finden sich 1—3 % Basen (Pyridin, Chinolin u. a. m.) und 0,2—0,3 % Nitrile; auch sind ungefähr 1½ % neutrale sauerstoffhaltige Körper enthalten. Endlich finden sich als stete Begleiter der etwa 95 % ausmachenden Kohlenwasserstoffe gewisse Schwefelverbindungen, wie Schwefelkohlenstoff, Thiophen und andere in der geringfügigen Menge von 1/10 %. Gerade einer dieser Körper (Thiophen) haftet den Kohlenwasserstoffen hartnäckig an, so daß er sich lange Zeit der Beobachtung entzogen hat.

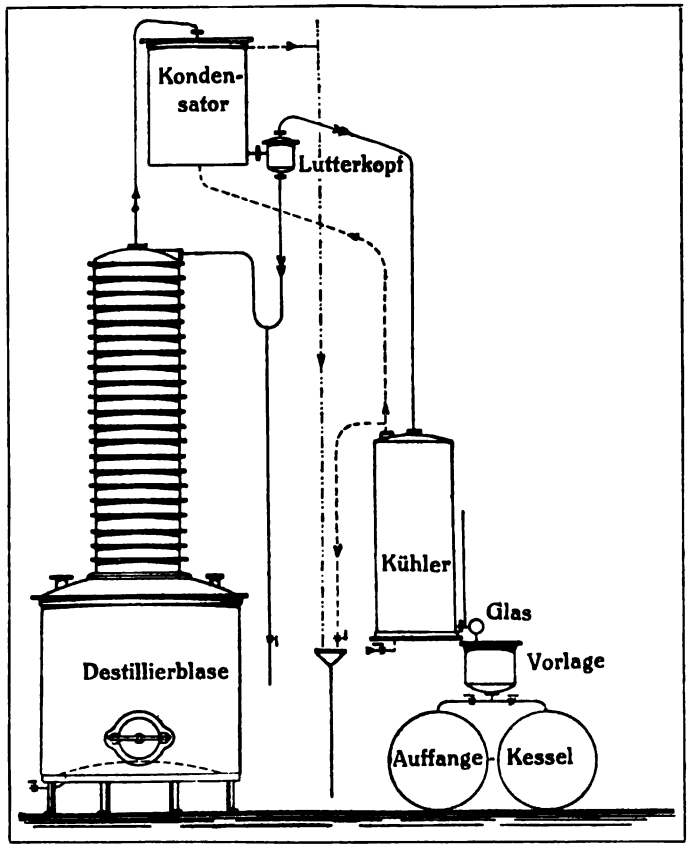


Abbildung 28. Benzoldestillierapparat.
(Aus „Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle" von Dr. A. Spilker. Verlag von W. Knapp, Halle a. S.)

Von den Kohlenwasserstoffen ist der weitaus größte Teil den Verbindungen der aromatischen Reihe angehörig, während nur 0,5—1 % Paraffine, 3—5 % Olefine und 1—1½ % ungesättigter zyklischer Verbindungen darin enthalten sind.

Leider weisen die aromatischen Kohlenwasserstoffe nur etwa 80 % an Benzol und seinen Homologen auf. Die Trennung der im Leichtöl enthaltenen Produkte erfolgt durch wiederholte fraktionierte Destillation, wobei man die bei verschiedenen Temperaturen übergehenden Anteile des Öles getrennt auffängt; dann werden die Phenole durch Behandlung mit Natronlauge (1,1 spezifisches Gewicht) in zylindrischen eisernen Gefäßen, die mit mechanischen Rührwerken versehen sind, aus den Ölen extrahiert. Die Phenole werden von der Natronlauge aufgenommen. Die Trennung der Phenole von den Neutralölen gelingt übrigens auch mit Kalk bei Gegenwart von Wasser und Temperaturen von etwa 0° C. Die nach dem Absitzen trennbaren Öle können in mit Blei ausgekleideten Wäschern durch Behandlung mit Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,8 von Basen befreit werden.

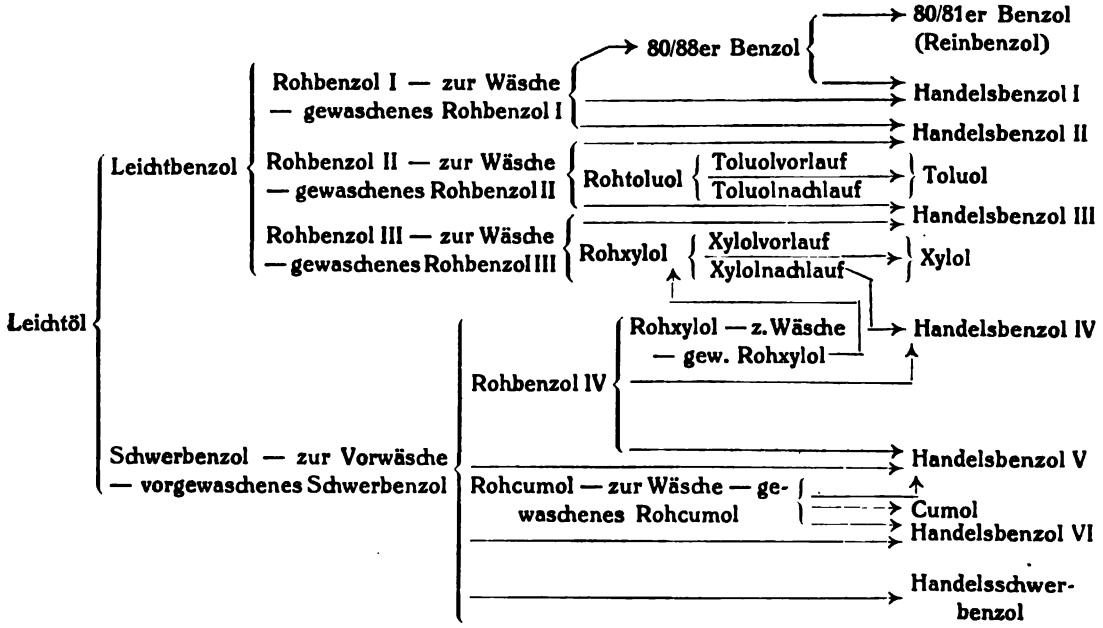
Die Einrichtung dieser Benzolwäscher ist dieselbe wie die obenerwähnte, welche zum Ausbringen der Phenole aus den Ölen dienen. Es bedarf wohl nur des Hinweises, daß mit Hilfe von Vorproben die Menge an Lauge und Säure, welche zur Wäsche der Öle notwendig sind, im Laboratorium der betreffenden Destilla-

tionsanlagen von Fall zu Fall erst festgestellt wird. Nach Trennung von Säure und Öl wird letzteres mit Wasser nachgewaschen und hierauf meistens einer neuen fraktionierten Destillation nach vorhergehender Neutralisation der Säure unterworfen.

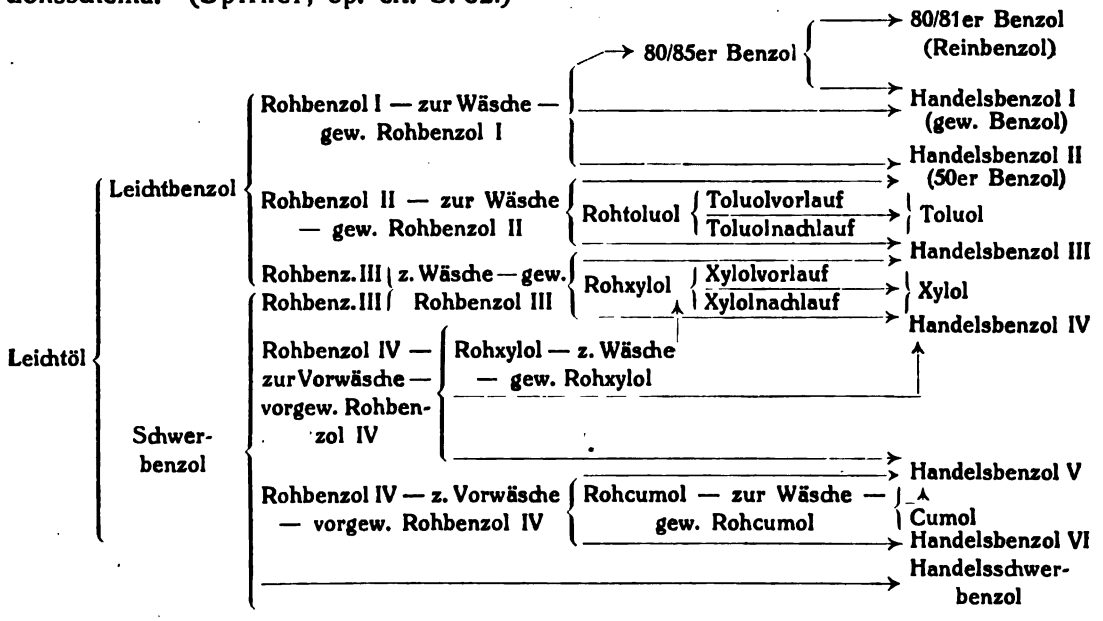
Die Einrichtung der Destillationsanlagen bleibt ungefähr dieselbe, wie wir sie schon kennen gelernt haben. Nunmehr erfolgt in den wie oben bereits erwähnten Wäschern eine wiederholte Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure, welche den Zweck hat, ungesättigte zyklische Verbindungen aus dem Rohbenzol zu entfernen. Nach Trennung des Öls vom Säuregemisch und gehöriger Wäsche bzw. Neutralisation des Öls erfolgt dessen Verarbeitung in analog gebauten Kolonnenapparaten, wie solche in der Spiritusindustrie seit langem üblich sind.

Diese Kolonnen, welche aus Gußeisen, selten aus Kupfer, hergestellt sind, gestatten eine wesentlich schärfere Trennung der einzelnen Fraktionen. Meistens verwendet man sogenannte Glockenkolonnen. Die ungefähr 5000 l fassende Destillierblase, welche einen nach innen gewölbten Boden besitzt und die nötigen Leitungen bzw. Nebenapparate aufweist, ist unmittelbar mit der Kolonne in Verbindung.

Das Heizen der Blase erfolgt durch eine am Boden desselben befindliche Heizschlange mittels Dampf. Der Durchmesser der Kolonne selbst richtet sich selbstverständlich nach dem Rauminhalt der Blase. Von der Kolonne gelangen die Dämpfe durch den Kondensator in den Luttertopf, aus welchem einerseits die bereits kondensierten Flüssigkeitsmengen wieder nach der Kolonne zurückfließen, während die Dämpfe durch den Kühler und die Vorlage zu dem Auffangkessel geleitet werden. Entweder arbeitet man mit hochgespanntem Dampf oder im Vakuum. So ergeben sich durch abwechselnde fraktionierte Destillationen und Waschoperationen eine ganze Reihe von wertvollen Handelsprodukten, welche im Zusammenhang mit ihrem Ausgangsmaterial aus der folgenden Tabelle, die dem bereits genannten instruktiven Buche „Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle" von A. Spilker, S. 61 entnommen ist, ersehen werden können.



Es wird übrigens auch eine direkte Trennung von Leicht- und Schwerbenzol vorgenommen, und es ergibt sich dann das aus der Tabelle zu entnehmende Fabrikationsschema. (Spilker, op. cit. S. 62.)



Reinbenzol und Reintoluol wird natürlich erst nach wiederholter fraktionierter Destillation erzielt, wobei für thiophenfreies Benzol überdies eine Reinigung mit konzentrierter Schwefelsäure erfolgen muß. Chemisch reines Benzol läßt sich über kristallisierte Ware, von welcher die flüssigen Anteile geschleudert oder abgesaugt werden, gewinnen; die isomeren Xylole lassen sich schwerer trennen als die vorgenannten Verbindungen, doch begnügt man sich meist nur, das leichter ausscheidbare Metaxylol darzustellen. Die einzelnen Handelsbenzole stellen natürlich noch immer Gemische des Benzols mit dessen Homologen dar.*

Wir haben früher erfahren, daß die Benzole bzw. die Leichtöle mit Schwefelsäure gewaschen werden, um die Basen von den Kohlenwasserstoffen zu trennen. Zur Trennung der Basen von der Schwefelsäure bedient man sich des bei der Leichtöldestillation bzw. Teerdestillation abfallenden Ammoniaks, mit dessen Hilfe die Neutralisation meist in Steinguttöpfen oder in verbleiten Gefäßen ausgeführt wird. Das sich so abscheidende Rohpyridin — dies bildet ungefähr die Hälfte der Basen — wird durch Destillation gereinigt und meistens als Denaturierungsbase verwertet. Das sich hierbei bildende Ammoniumsulfat kann entweder zur Herstellung von Ammoniak oder auch direkt als Dungmittel Anwendung finden. Von den Homologen des Pyridins findet das Chinolin und Isochinolin als Ausgangsmaterial für Farbstoffe und Medikamente u. a. m. eine wenn auch beschränkte Verwendung. Im Rückstande bleibt eine harzige Masse.

* Das Benzol und dessen Homologe sind für die Darstellung von Farbstoffen, pharmazeutischen Stoffen, künstlichen Süßstoffen, Riechstoffen und vielen anderen wichtigen Konsumartikeln als Ausgangsmaterial von eminenter Wichtigkeit; neuerer Zeit scheint Benzol zum Betrieb von Motoren (Lokomotiven, Automobilen usw.) sehr häufig in Anwendung zu kommen. Das Lösungsvermögen des Benzols für viele Stoffe wird gleichfalls verwertet, so daß der wirtschaftliche Wert der Kohlenwasserstoffe in steter Steigung begriffen ist.

Von den Mittelölen hat die bei 180—200° übergehende Fraktion des Destillats die größte Bedeutung, da aus diesem das Naphthalin durch Kristallisation in schmiedeeisernen Kästen, welche in Kühlhäusern etagenförmig aufgestellt sind, gewonnen werden kann. Das hierbei ablaufende Öl kann in Kolonnenapparaten direkt auf die im Handel üblichen Marken von Phenolen verarbeitet werden. Diese Körper finden entweder als solche als sogenannte Rohkarbolsäure zu Desinfektionszwecken, ferner zur Herstellung von Karbolkalk oder als Imprägnieröl Anwendung. In den meisten Fällen aber werden die Karbolöle nochmalig gereinigt, wobei durch passende Wahl der Mengenverhältnisse eine Trennung von Phenol und Kresol erreicht werden kann. Die Apparatur ist eine den Benzolwäschern ähnliche, nur werden hier liegende Zylinder in Anwendung gebracht.

Die in Destillierblasen klar gedämpften Laugen werden hierauf entweder mit Kohlensäure oder Schwefelsäure zerlegt. Das erstere Verfahren bewährt sich diesfalls besser. Das sich ergebende Rohphenol wird nach der Trennung von der Lauge nochmals destilliert. Wiederholt in Kolonnen destilliertes Rohphenol wird kristallisiert, abgeschleudert und neuerdings aus Apparaten mit Kühlschlangen aus Silber destilliert.

Für antiseptische Zwecke kommt nur reines Phenol in Frage, während heute ein großer Anteil des Phenols zur Herstellung der Salizylsäure und in der Sprengstofftechnik zur Gewinnung der Pikrinsäure u. a. m. eine ausgedehnte Verwendung findet. Es bedarf wohl nur des Hinweises, daß Seifenemulsionen mit Phenolen (Lysol u. a. m.) unter den verschiedensten Namen in der Industrie in Anwendung kommen. Solche Emulgierungen sind übrigens auch für andere Teerprodukte in Vorschlag gekommen.

Aus dem Mittelöl und Schweröl wird meist schon durch Abkühlung direkt das Rohnaphthalin gewonnen. Dasselbe kann, in zylindrischen Pressen warm gepreßt und weiteren Operationen unterworfen, ein reines Produkt bis zu einem Schmelzpunkt von 79,8° C ergeben. Dieses wird in geschmolzenem Zustande mit konzentrierter Schwefelsäure gewaschen und nach der Neutralisation in niederen Kolonnenapparaten rein destilliert, eventuell folgt noch ein Sublimieren, wobei man den sublimierenden Körper in mit Stoff oder Papier ausgekleidete Kammern eintreten läßt. Das reine Naphthalin findet heute in der Industrie eine ausgedehnte Verwendung, so zur Herstellung einer Unzahl von Derivaten desselben, welche zur Darstellung von Azo- und anderen Farbstoffen dienen. Durch oxydative Aufspaltung wird aus Naphthalin die Phthalsäure gewonnen, welche ihrerseits als Ausgangsmaterial für eine ganze Reihe von Farbstoffen, so auch für die indigoiden Farbstoffe zu dienen vermag. Auch die Verwendung als Insektenpulver sei hier in Erinnerung gebracht.

Die Schweröle, eine halbflüssige Masse, enthalten neben einer Reihe von Kohlenwasserstoffen Naphthalin, Azenaphthen, Phenole und Basen. Meistens werden sie in zwei Fraktionen zerlegt, von denen die erste, bei etwa 180—230° übergehend, als Naphthalinöl I hauptsächlich auf reines Naphthalin verarbeitet wird, während das sogenannte Naphthalinöl II, bei 200—300° übergehend, nach dem Abnutschen des kalten, kristallisierten Anteils das eigentliche Kreosotöl darstellt. Dasselbe wird in Mischungen mit abgetropften Anthrazenölen in vielen Tausenden von Tonnen per Jahr zum Tränken von Hölzern in Anwendung gebracht.

Auf diese Art kann man die Schwellen unserer Eisenbahnen, die Telegraphenstangen usw. vor der raschen Fäulnis bewahren. Der Verbrauch an Ölen richtet sich je nach der Holzart.

Der spezifisch schwerste Anteil der Teeröle ist das sogenannte Anthrazenöl, welches zwischen 280 und 400° übergeht. Es enthält wenige Prozente von dem wert-

vollen Anthrazen, neben welchem sich außer einer Reihe von Kohlenwasserstoffen und Phenolen Karbazol (Diphenylimid) findet.

Zur Gewinnung von Anthrazen muß das vom Wasser befreite Öl analog wie bei der Gewinnung des Naphthalins in flachen eisernen Kästen zur Kristallisation durch mehrere Tage verbleiben. Das so erhaltene Rohanthrazen ist nach dem Abschleudern der Anthrazenöle aber noch verhältnismäßig minderwertig und muß daher, wie an einer anderen Stelle des Werkes beschrieben werden wird, auf einen Gehalt von 80 und mehr Prozente an reinem Anthrazen gebracht werden, um dann als überaus wichtiges Ausgangsmaterial für die sogenannten Anthrazenfarbstoffe, jenen besonders echten Vertretern künstlicher Teerfarbstoffe, zu dienen. Die ablaufenden Anthrazenöle können entweder nach nochmaliger Destillation und Kristallisation zur Gewinnung eines minderwertigen Anthrazens dienen, oder man kann sie direkt zu Anstrich- oder Imprägnierungszwecken unter dem Namen von Karbolineum, Avenarin u. a. m. verwenden.

Die Trennung des Anthrazens von Karbazol und Phenanthren erfolgt am besten durch Kristallisieren aus Pyridinbasen, wobei direkt eine 80prozentige Ware an Anthrazen erhalten werden kann.

Wir müssen nach der Verwertung des in den Destillationsblasen rückbleibenden Teerrückstandes des Peches gedenken. Nach Charitschkow sind manche Peche zum Teil als salzartige Verbindungen hochkomplizierter Säuren mit komplizierten Stickstoffbasen aufzufassen. Das Pech weist einen Erweichungspunkt von etwas über 100° auf und kann einer ziemlich umfangreichen Verwendung zugeführt werden. Zur Brikettfabrikation bedarf man heute großer Mengen von Pech, das einen Erweichungspunkt von ungefähr 55—70° zeigen soll.

Solche Peche werden entweder gewonnen, indem man schon bei der direkten Destillation so viel Destillate nur abnimmt, um Pech von dem genannten Erweichungspunkt zu erreichen, oder indem man Pech mit Schweröl in zylindrischen Kesseln, die mit einem Dunstabzug versehen sind, in der Weise mischt, daß man in das durch Luft gut durchgerührte Öl das warme Pech einfließen läßt.

Die Brikettfabrikation ist für die Kohlenwerke von eminenter Bedeutung geworden, da hierdurch die sonst schwer oder gar nicht verkäuflichen großen Mengen an Kohlenklein einer rationellen Verwertung zugeführt werden. Der größte Teil des Verbrauchs an Briketts entfällt auf Eisenbahnen und Dampfschiffe. Man verlangt, daß die Briketts bei geringem Aschengehalt (6—7%) die Festigkeit der natürlichen Kohlen besitzen, im Feuer nicht zerfallen und einen ungefähr 10% höheren Heizwert als die Kohlen selbst ergeben. Es ist wohl schwer, bestimmte Normen für die Qualität des Peches anzugeben; Temperatur, Druck, die Art der Mischung und Pressung wird von ganz wesentlichem Einfluß auf die Anforderung sein, die man auf das für die Fabrikation in Frage kommende Pech stellen wird. Die Menge an Pech in bezug auf jene der Kohlenkleinmengen variiert zwischen 5—10%.

Über die Brikettfabrikation sei nur so viel gesagt, daß man meist naß aufbereitetes Kohlenklein unter Zumischung von trockenem Kohlenstaub in Verbindung bringt. Die hier benutzten Preßmaschinen haben entweder offene oder geschlossene Formen, und wird bei den ersteren eine direkte oder indirekte Pressung in Anwendung gebracht. Eine weitere Verwendung findet das Steinkohlenteerpech zur Herstellung von schwarzen Firnissen (Lacken), die in offenen, von außen heizbaren Kesseln durch Einschmelzen von Pech mit entsprechenden Ölen gewonnen werden. Diese Lacke lassen sich bei entsprechend geleiteter Destillation des Teers direkt gewinnen. Meist geht man so vor,

daß man das bis zum harten Pech abdestillierte Rückstandsprodukt mit Schwerölen, aus welchen Anthrazen und Naphthalin entfernt wurde, passend verdünnt: das sind die sogenannten präparierten Teere, die sich namentlich für Anstrichzwecke sehr gut bewähren. Die Trockenzeit derselben wechselt zwischen 12 bis 25 Stunden. Daß es natürlich nicht an vielen Versuchen mangelte, bei welchen durch Mischung von verschiedenen Ölen mit Pech ähnliche Lacke erhalten werden, die eventuell durch Beimischung der verschiedensten Körper für einzelne Spezialverwendungen sich als noch wertvoller gestalten, sei nebenbei bemerkt. Diese Lacke finden übrigens auch in den chemischen Großindustrien und in der Eisenindustrie eine ausgedehnte Verwendung.

An Stelle von natürlichem Asphalt finden Steinkohlenteerpeche meist unter Zusatz von natürlichem Bitumen* mit Sand, Asche usw. vielfach Anwendung als Straßenpflaster, als Kunstasphalt zum Asphaltieren der Bürgersteige, als Isolierungsmaterial bei Bauten usw.

Natürlich sind auch hier die mannigfaltigsten Gemische für einzelne Zwecke mit Vorteil in Anwendung gekommen. So stellt man Asphaltrohre aus geteerten Hanfpapieren her. Asphaltpapiere dienen an Stelle von Wachspapieren; ferner findet das Pech eine Verwendung zur Isolierung unterirdischer Kabel. Durch Destillation der Peche können endlich noch Öle erhalten werden, welche eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen wie die Teeröle, nur mit dem Unterschied, daß höhere molekulare Verbindungen ihren Inhalt darstellen. Die diesfalls rückbleibenden Koksmassen können je nach der Beschaffenheit derselben den verschiedensten Zwecken zugeführt werden.

Dies ein flüchtiger Blick über die Verarbeitung des Steinkohlenteers, aus welchem viele Körper sich herstellen lassen, die entweder uns die Farbenpracht der Natur zeigen, oder die als Riechstoffe, als wertvolle Süßstoffe, endlich als heilkräftige Mittel uns unentbehrlich geworden sind.

6. BRAUNKOHLENTEER

Zweifacher Art sind die schwarzen Schätze, die uns die Erde birgt. Wir haben von diesen bereits in den früheren Abschnitten unseres Buches gelesen und erfahren, daß nicht die Steinkohle aus Braunkohle gebildet sein konnte, sondern daß die als bildende Substanzen in Frage kommenden Körper verschieden waren, je nachdem sie durch Jahrtausende lange Lagerung übergegangen sind in Stein- oder Braunkohlen. Die eigentümlichen noch kenntlichen Strukturformen deuten dafür, daß die Braunkohlen aus den Koniferen gebildet wurden. Es darf daher nicht wundernehmen, wenn der Bitumengehalt der Braunkohle ein wesentlich höherer ist als jener der Steinkohle, ja, daß es Braunkohlen gibt, bei denen der Gehalt an bituminösen Substanzen so hoch ist, um an eine Gewinnung desselben durch Extraktion und durch Verarbeitung, hauptsächlich auf Kohlenwasserstoffgemische, die wir als Paraffin bezeichnen, zu denken. Solche bituminöse Substanzen findet man nicht nur bei den Braunkohlen, sondern auch in anderen Mineralien. Bitumenreiche Braunkohlen, sogenannte Schwelkohlen, finden sich auf deutschem Boden in Sachsen und Thüringen, doch auch noch an vielen anderen Orten.

Zu gleichen Zwecken dienen Torf und Schlick, wie endlich die bituminösen Schiefer, die sich in Schottland, Frankreich, Neusüdwales, auf deutschem Gebiete und an anderen Orten finden; auch manche der Asphaltsorten dürfen hier mitzurechnen sein. Der Bitumengehalt der einzelnen Braunkohlen ist gleich jenem der Steinkohle ein

* Siehe weiter unten unter Braunkohlenteer.

stark schwankender und bewegt sich in noch wesentlich größeren Grenzen als jener der älteren Steinkohle. Nach all den zahlreichen Untersuchungen, welche über die Natur des Bitumens ausgeführt wurden, dürfen wir wohl annehmen, daß je nachdem die pflanzlichen Materialien unter Wasser ihrer Verkohlung zugeführt wurden oder in Gegenwart von Luftsauerstoff das zelluloseartige Gerüst der Pflanzen weitgehend verwest ist, die widerstandsfähigen Harze zur Bildung der rückbleibenden Kohlen hauptsächlich beigetragen haben und so sogenannte Feuerkohlen bzw. Schwelkohlen entstanden sind. Für die Bitumenbildung scheint allerdings nach neueren Forschungen die Mitwirkung der Pflanzenharze ausgeschlossen.

Feuerkohlen sowie auch Schwelkohlen sind heute neben der Steinkohle nicht wesentlich minderwichtige Brennmaterialien bzw. Ausgangsprodukte für eine Reihe wertvoller Erzeugnisse geworden. Diese beiden Verwendungsweisen sind kaum voneinander zu trennen, und es hat sich gezeigt, daß für die meisten Fälle neben der Verwertung der Schwelkohle zur Erzeugung von Paraffin, Ölen, Asphalt u. a. die Verwertung der Feuerkohlen Hand in Hand gehen muß, um den die Werke betreibenden Faktoren wirtschaftlichen Nutzen zu bieten. Die Braunkohlen sind oft faserig und lassen die Holzstruktur des hierfür in Frage kommenden Ausgangsmaterials noch deutlich erkennen. Erdige Braunkohlen zeigen nur mehr an einzelnen Stellen diese Strukturbilder verwesten Holzes, der Blätter oder des Bastes, während sie sonst ein mehliges, leicht zerreibliches Äußere zeigen. Doch besitzen wir auch manche der Braunkohlen, die als derb und dicht bezeichnet werden müssen, einen muscheligen Bruch ergeben und braune bis schwarze Farbe besitzen; ja manche der Kohlen zeigen einen lebhaften Fettglanz und geben ein leicht entzündbares Brennmaterial. Die Braunkohle wird infolge ihrer oft geringen Festigkeit brikettiert, d. h. in Kohlenziegel umgewandelt. Zur Brikettierung kann auch der sich beim Sortieren ergebende Kohlenkleinabfall vorteilhaft verwendet werden.

Während nun Steinkohlenklein mit ungefähr 5 % Steinkohlenpech als Bindemittel verarbeitet werden muß, geben Braunkohlen, wenn sie einen nicht zu hohen Wassergehalt zeigen, ohne einen Zusatz von Bindemittel haltbare Briketts. Hier sei nur so viel erwähnt, daß man das von den Stücken abgesiebte Braunkohlenklein in Dampftelleröfen auf Platten, die mit Rührern versehen sind, trocknet, und zwar bis zu einem Wassergehalt von 15—18 %, und hierauf in einer Presse bei einem Druck von 1000—1500 Atmosphären bei etwa 75 Grad preßt. Die Bitumina sind es, welche die Masse verkitten und so die Festigkeit der Braunkohlenbriketts bedingen.

Heute bedient man sich zum Trocknen des Braunkohlenkleins meist nicht mehr der obenerwähnten dampfgeheizten runden Platten, sondern man nimmt jetzt liegende rotierende Zylinder, welche Röhren eingebaut haben und eine gewisse Neigung aufweisen. Man hat früher die wasserreichen Rohkohlen unmittelbar gepreßt und so die sogenannten „nassen Preßsteine" erhalten; doch zeigen die letzteren die unangenehme Eigenschaft, beim Lagern leicht Sprünge zu erhalten, zu zerfallen und in dieser Form zur Selbstentzündung zu neigen; jedenfalls erweisen sich die Steinkohlenbriketts in dieser Beziehung günstiger als die Braunkohlenbriketts. Bei dem verhältnismäßig geringen Werte der Briketts scheint es wohl ausgeschlossen, daß irgendein Punkt der Fabrikation durch Handarbeit bewirkt wird. Meistens vermitteln Kettenbahnen die Zufuhr der Rohkohle nach der Fabrik, die oft in einer Minute hundert Briketts und mehr liefert. Das Fortführen der fertigen Briketts erfolgt in Rinnen, in welchen die Briketts zunächst abkühlen, um dann von dort zur Lagerstätte bzw. zur Verladestelle zu gelangen.

Natürlich ist der Gehalt an Bitumen in der Kohle auf die Haltbarkeit und Brauchbarkeit der Briketts nicht ohne wesentlichen Einfluß. Die Briketts besitzen durchschnittlich einen Wassergehalt von 15 %, der Aschengehalt schwankt zwischen 4 und 7 %. Sie ergeben einen Wärmeeffekt von 5000—6000 Wärmeeinheiten. Für ihre Verwendung ist vor allem neben ihrem Heizwert die Resistenz der Briketts von Bedeutung. Dieselbe wird sowohl auf Biegefestigkeit und Stoßfestigkeit geprüft, wozu man sich eigens konstruierter Apparate bedient.

Bei ersterer der Festigkeiten sucht man die auf zwei Schneiden ruhenden Briketts durch Aufdrücken einer Metallschneide bis zum Bruch zu belasten, während für die Prüfung der Stoßfestigkeit ein Apparat dient, bei welchem ein Fallgewicht von Birnenform aus bestimmter Höhe die Bruchfestigkeit des untergelegten Brikettziegels ermittelt. Die chemische Unterscheidung der Braunkohlen, das sind fossile Kohlen, welche geologisch jünger sind als diejenigen der Kreideformation, von den älteren Steinkohlen erfolgt nach E. Donath mittels verdünnter Salpetersäure, wobei die Braunkohlen intensiv angegriffen werden, während die Steinkohlen keine Veränderung erleiden. Als weiterer Unterschied kann ihre Löslichkeit in Alkalilauge mit brauner Farbe gelten.

Bitumenreiche Braunkohlen werden, wie oben bereits bemerkt, einem sogenannten Schwelprozeß unterzogen, wobei das Bitumen derselben durch chemische Veränderung in Kohlenwasserstoffe und andere Kohlenstoffderivate übergeführt wird. Das wertvollste Ausgangsprodukt für den Schwelprozeß stellt der sogenannte Pyropissit dar. Leider kommt derselbe wegen seines spärlichen Vorkommens heute kaum mehr für die technische Verwertung in Frage. Im Pyropissit liegt kein chemisches Individuum vor, vielmehr ein Gemisch von Substanzen, von denen etliche namentlich durch die Arbeiten von Krämer und Spilker näher charakterisiert worden sind. Durch langsames Auslösen der Schwelprodukte aus den Schwelkohlen mit Hilfe von Extraktionsmitteln und darauffolgende Behandlung mit Alkalien, um die darin enthaltenen Huminsäuren zu entfernen, erhält man zelluloseartige Körper, wie sie auch in den Feuerkohlen sich finden, so daß von einem prinzipiellen Unterschiede zwischen Schwel- und Feuerkohlen — letztere enthalten ja gleichfalls in geringerer Menge Bitumina — nicht gesprochen werden kann; so ist es wohl auch erklärlich, daß wir die beiden Kohlensorten immer gemeinschaftlich finden, schichtenweise aufeinandergelagert, wobei die guten Schwelkohlen sich vor den Feuerkohlen schon auf Entfernung durch eine helle Farbe kennzeichnen.

Der Abbau dieser Kohlen wird zum Teil als Tagbau, zum Teil als unterirdischer Betrieb bewirkt, wobei die Schachtsohlen bis über 100 Meter tief liegen können. Die Schächte, die Hauptförder- und Nebenstrecken werden meist ausgezimmert, und wurde früher das hierzu verwendete Holz nicht selten mit Abfallprodukten der Braunkohlenteerindustrien imprägniert. Die Förderung der Kohle selbst erfolgt durch maschinelle Betriebe, Seil- und Kettenbahnen, wobei zur Bewegung der Seiltrommeln Dampfmaschinen oder Elektromotoren dienen. Die gleichen Betriebsmittel werden ferner benötigt zum Betriebe der Pumpen, welche zur Entwässerung der Schächte aufgestellt werden müssen. Die sich in den Schächten bildende Kohlensäure und der Schwefelwasserstoff bedürfen ebenfalls der rechtzeitigen Entfernung, um das Betreten der Schächte nicht gefährlich zu machen. Feuerkohle und Schwelkohle, die ungefähr einen Wassergehalt von 50—55 % aufweisen, sind getrennt zu halten, da die Feuerkohle sich gut zur Brikettfabrikation eignet, während die Schwelkohle spröde und rissige Briketts — infolge ihres hohen Bitumengehalts — geben würde, so daß die Brikettfabrikation mit der Schwelerei schon aus technisch-ökonomischen Gründen ein Ganzes

bildet. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß eine strenge Trennung von Feuer- und Schwelkohle eintritt; denn einerseits zeigen die beiden Kohlenarten in ihrem Heizwerte kaum wesentliche Differenzen, anderseits war es von Vorteil, bei bitumenreicher Schwelkohle Feuerkohlen mit zu verschwelen, ein Fall, der allerdings heute kaum noch zutrifft. Bei bitumenarmem Schwelmaterial kann es sich aber auch oft kaum verlohnen, den Schwelprozeß überhaupt durchzuführen. Feuerkohlen sowie Schwelkohlen ergeben, wenn sie gut lufttrocken sind, einen Heizwert von 6000 Wärmeeinheiten, während die geförderten, noch stark wasserhaltigen Kohlen nur einen ungefähren Heizwert von 3000 Kalorien liefern. (Graefe, Braunkohlenindustrie.)

Der Zweck des Schwelprozesses ist der, der Kohle das Bitumen zu entziehen und die in denselben enthaltenen organischen Säuren bzw. ihre Ester zu zerlegen und so die Bildung von Methan- und Äthylenkohlenwasserstoffen zu bewirken. Schon aus diesen Andeutungen ist es klar, daß ein gewisser Wassergehalt der Kohle aus zweifachen Gründen beim Schwelprozeß notwendig erscheint. Denn einerseits bewirkt er eine Herabminderung der Temperatur während des Schwelprozesses und hierdurch eine möglichst hohe Ausbeute an Fettkohlenwasserstoffen (Paraffinen), anderseits trägt er, wie man annehmen darf, wohl auch zur Verseifung der veresterten Anteile der Bitumina bei. Trockene Kohlen können allerdings ohne wesentliche Abnahme ihres Wertes für den Schwelprozeß länger gelagert werden als feuchte (Graefe); doch bedingen zu trockene Kohlen oder zu hohe Temperaturen im Schwelofen den Übergang der Fettkohlenwasserstoffe in jene der aromatischen Reihe, somit eine geringere Ausbeute an Paraffin, was ja durchaus nicht beabsichtigt wird. Allerdings sei betont, daß zu Beginn des Schwelprozesses ein Trocknen der Kohle vorangeht, doch bleibt immerhin ungefähr die Hälfte des vorhandenen Wassers bis zum Austreiben des Bitumens zurück. Seeschlick, so auch die schottischen Schiefer ergeben beim Schwelprozeß Ammoniak. Alle die genannten Schwelprodukte aber enthalten trotz vorsichtig geleitetem Prozeß aromatische Kohlenwasserstoffe neben jenen der Äthylenreihe; erstere finden sich natürlich auch in den Schwelteeren.

Da es nicht Zweck dieser Zeilen sein kann, alle Systeme der Schwelöfen zu besprechen, sei nur der stehende Ofen von Rolle, welcher heute fast ausschließlich für den Schwelprozeß in Anwendung kommt, genannt.

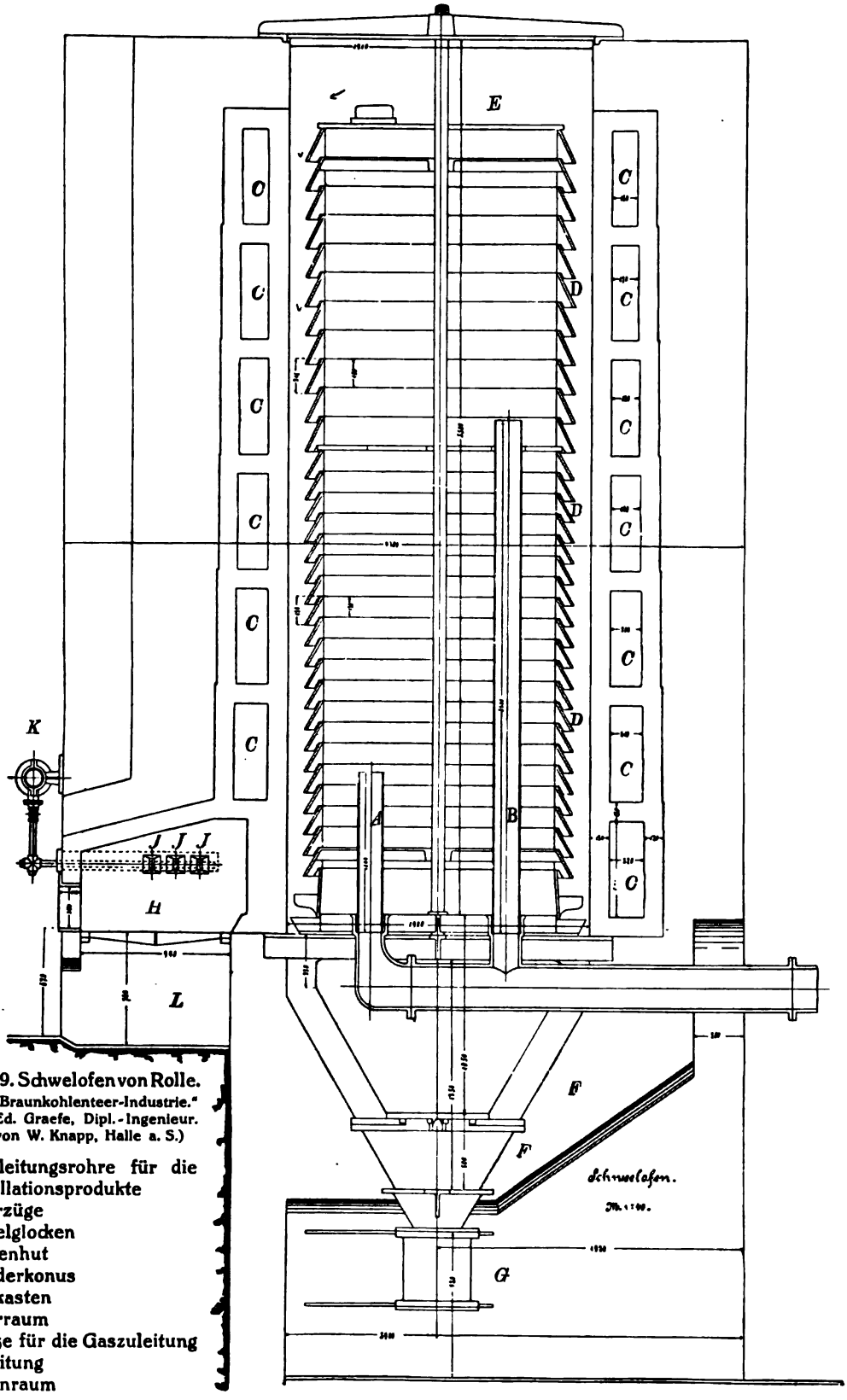
Diese Öfen bestehen aus zwei konzentrisch angeordneten Zylindern, von denen der äußere meist aus feuerfestem Stein, der innere jedoch aus Eisen konstruiert ist. Zwischen den beiden Zylindern gleiten die Kohlen während des Schwelprozesses langsam nach unten, indem sie im oberen Teil des Ofens erst eine Trocknung durchmachen, im mittleren den eigentlichen Schwelprozeß erleiden und die Destillationsprodukte in das Innere des eisernen Zylinders abgeben, um endlich im unteren Teil des Ofens als Grudekoks von Zeit zu Zeit abgezogen zu werden. (Graefe, op. cit. S. 15.)

Da während des Schwelprozesses ein geringer Unterdruck im Ofen herrscht, ist es nicht zu vermeiden, daß infolge der Undichtheit der Steine Feuergase aus den Feuerzügen in das Ofeninnere gelangen und so ein Teil des Teeres verloren geht. In dem aus Schamotte hergestellten Schwelzylinder finden sich, den inneren Zylinder bildend, jalousienartige übereinanderliegende Ringe von 4—6 Fuß Durchmesser, die mittels angegossener Knaggen aufeinander ruhen. Einige der Glocken sind mit Stegen versehen, die in der Mitte für eine durchzusteckende eiserne Achse eine Öffnung be-

* Schwelöfen mit rotierenden Schwelretorten haben Gebr. Barnewitz in Dresden empfohlen (Graefe, Braunkohle, 1910, S. 515).

sitzen. Am obersten Ende der Glockenreihe schließt der Glockenhut, der übrigens noch mit zwei Öffnungen versehen ist, die Glockenreihe ab. Eine der Öffnungen des Glockenhutes dient als Mannloch und ist mit einem Deckel verschließbar, die andere der Öffnungen ist zylindrisch angeordnet und dient für die Aufnahme der Zylinderachse. Außerdem wird der sich zwischen den Glocken befindliche Raum durch eine eiserne Platte in $^2/_3$ der Höhe der Glockenreihen in zwei getrennte Räume zerlegt, von denen der obere die sich beim Trocknen der Kohlen bildenden Wasserdämpfe aufnimmt, während sich im unteren Raume die Teerdämpfe sammeln, von wo sie durch Rohrleitungen zur Kondensation abgeführt werden. Der untere Teil des Ofens besteht aus einem gemauerten oder eisernen, nach unten sich verjüngenden Konus, in welchem sich der von oben kommende Koks sammelt, um von dort in einen zylindrischen Kasten, der mit doppelten Schiebern versehen ist, weitergeleitet zu werden. Diese Einrichtung der doppelten Schieber ist deshalb notwendig, um ein Herausstürzen der glühenden Kohlenmassen aus dem Ofen zu vermeiden; deshalb ist die Einrichtung an den Schiebern so getroffen, daß sie nie gleichzeitig geöffnet werden können. Die Heizung der Öfen erfolgt meist mit Planrostfeuerungen unter gleichzeitiger Einführung der aus den Kondensationsrohren abgesogenen, gewaschenen und gekühlten Schwelgase. Die Gase kann man entweder durch Schlitze direkt der Feuerung zuführen oder, um eine gleichmäßigere Verteilung der Wärme zu erzielen, zum Teil in die Feuerzüge direkt einführen. Man kann auch im weiteren Verlaufe des Prozesses sich nur der Gasfeuerung bedienen und die Rostfeuerung außer Tätigkeit setzen.

Gasfeuerung allein zu verwenden, empfiehlt sich wegen Explosionsgefahr infolge Bildung explosiver Gasgemische nicht. Die Öfen sind gewöhnlich reihenweise angeordnet, und zwar so, daß man vom Heizerstand aus zwei Öfenreihen zu beobachten vermag. Die auf eine bestimmte Korngröße gebrachten Kohlen werden am Schwelboden getrocknet und von dort mit einem Wassergehalt von 40—50 % in den Ofen gebracht, wo, wie bereits erwähnt, im oberen Drittel desselben erst die Kohle zum Teil entwässert wird, während im unteren Teil der eigentliche Schwelprozeß sich vollzieht und die Kohle hierdurch in Koks übergeführt wird. Die Temperatur des Zylinders beträgt höchstens zirka 900° C. Die Öfen stehen natürlich in ununterbrochenem Betriebe, und man setzt dieselben nur dann außer Betrieb, wenn sich infolge Ablagerungen Schwierigkeiten für die Gasführungen im Ofen selbst ergeben sollten, wobei es natürlich noch immer fraglich bleibt, ob man den Ofen total außer Betrieb setzt oder nur eine örtliche Reparatur an demselben vornimmt; so zum Beispiel das Reinigen der Schwelringe. Die Rohrleitungen für die Abführung der Gase sind meist so angelegt, daß ein Durchputzen derselben streckenweise während des Betriebes vorgenommen werden kann. Die Dämpfe aus den Schwelöfen passieren zunächst einen Vorlagekasten und von da aus nach Abgabe der Hauptmenge des Teers ein System von ungefähr 1 m starken liegenden Rohren. Dann werden dieselben mittels eines Ventilators oder Exhaustors in eine Kondensationsanlage geleitet. Diese besteht aus stehenden Rohren, die mit ihren unteren Teilen in einen Kasten münden. Von dort aus werden die nicht verdichteten Gase nach vorheriger Wäsche und vorherigem Kühlen den Schwelöfen zugeleitet. Da die Dämpfe, welche den Schwelofen verlassen, nur 2 % Teerdämpfe auf ungefähr 10 % Schwelgase und 80 % Wasserdampf enthalten, so genügt zur Kühlung Luft oder nach einem Vorschlage von Krey, um die Apparatur kompendiöser zu wählen, eine Wasserkühlung. Die aufgesammelten Teermengen werden in Teersammelgruben für spätere Verarbeitung aufbewahrt. Den Koks löscht man unmittelbar nach dem Herausbringen aus den Schwelöfen ab



Abbild. 29. Schwelofen von Rolle.
(Aus „Die Braunkohlenteer-Industrie." Von Dr. Ed. Graefe, Dipl.-Ingenieur. Verlag von W. Knapp, Halle a. S.)

A B Ableitungsrohre für die Destillationsprodukte
C Feuerzüge
D Schwelglocken
E Glockenhut
F Zylinderkonus
G Kokskasten
H Feuerraum
I Schlitze für die Gaszuleitung
K Gasleitung
L Aschenraum

und führt ihn zumeist sofort der Verfrachtung zu. Der Koks stellt heute bei einem Gehalt von etwa 20 % an Wasser ein wichtiges Nebenprodukt dar und wird, da er ohne Rauch- und Rußentwicklung, fast ohne leuchtende Flamme verbrennt, entweder direkt oder in Form von Briketts verwertet; der aus böhmischen Braunkohlen gewonnene Koks kommt unter dem Namen „Kaumazit" in den Handel. Außerdem kann derselbe zum Klären von Schwelwässern, zur Beseitigung des Schäumens bei der Destillation von Mineralölen, zur Herstellung poröser Gesteine in der keramischen Industrie, als Baumaterial, zur Verhüttung von Eisenerzen und endlich als Filtermaterial — infolge seiner porösen Beschaffenheit — Anwendung finden.

Bei der Undichtheit der Schwelöfen ist das gewonnene Schwelgas in seiner Güte zwischen 1300 und 3600 Kalorien schwankend und bietet infolge der besseren Ausnutzung bei der Verbrennung einen günstigeren pyrometrischen Effekt als die Kohle selbst.

Uns darf daher nicht wundernehmen, wenn man nach dem Vorschlage von Krey das namentlich von Schwefelwasserstoff befreite Gas zur Betreibung von Motoren bzw. zur Umsetzung von Wärme in elektrische Kraft benutzt, wobei für die Pferdekraft und Stunde 1—1½ cbm Gas benötigt wird; erwähnt sei noch der Vorschlag, das in dem Gas enthaltene Kohlenmonoxyd nach dem Goldschmidt-Verfahren zur Darstellung von Ameisensäure bzw. deren Salzen, die vordem aus Oxalsäure bzw. deren Salzen hergestellt wurde, zu benutzen.

Das Schwelwasser, obwohl in geringen Mengen Schwefelwasserstoff, Teer, Aldehyde, Ketone, Nitrile, aliphatische Säuren, Phenole, Amine enthaltend, bietet bezüglich seiner Verwertung bzw. seiner Wegschaffung große Schwierigkeiten. Am zweckmäßigsten hat sich ein Verfahren nach Rosenthal bewährt, nach welchem die Abwässer oxydiert und durch Grudekoks filtriert werden.

Neben dem Koks ist das wertvollste Produkt der Teer, dessen Ausbeute zwischen 5 und 10 % je nach Art der Kohle schwankt. Diese Ausbeute wird von der an Wasser (50—60 %) und an Koks (25—35 %) übertroffen. Von brauner bis schwarzer Farbe, butterartiger Konsistenz und aromatischem, eigenartigem Geruche, zeigt er ein spezifisches Gewicht von 0,85—0,91 und siedet zwischen 150—400 °. Der Teer enthält neben Spuren von Benzol und dessen Homologen bis 20 % substituierte Phenole; die Hauptmassen sind aber flüssige und feste Kohlenwasserstoffe der Paraffinreihe und auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Je nach der Durchführung der Destillation enthält er natürlich auch unzersetztes Bitumen in Form geringer Mengen von Säuren oder deren Ester, endlich oft bis 1½ % organische Schwefelverbindungen, zu welchen noch als lästige Beimischung Wasser, Koks- und Kohlenstaub zu zählen sind.

Bemerkt sei endlich, daß leichter Teer infolge höheren Paraffingehalts sich selbstredend als wertvoller erweist. Alle Versuche, die Bitumina der Braunkohlen erst aus der Kohle auszuscheiden, um sie dann der Verarbeitung zuzuführen, haben bis auf die Extraktionsverfahren kaum große technische Bedeutung erlangt. Andeutungsweise sei erwähnt, daß Ramdohr den Schwelprozeß unter Zuführung von überhitztem Wasserdampf ausführte, daß man versuchte, dieses Schwelprodukt im Vakuum zu destillieren, um auf diese Weise Montanwachs herzustellen, oder daß man das Bitumen der Braunkohle mit Hilfe von verschiedenen Lösungsmitteln, hauptsächlich Benzol, aus der Kohle extrahierte und so eine braune bis schwarze Masse von muscheligem Bruch und einem Schmelzpunkt von 80—90 ° erhielt. Auch auf die verschiedenen Methoden, Montanwachs zu reinigen, kann hier nur verwiesen werden (v. Boyen).

Durch wiederholte Destillation läßt sich aus diesen Bitumina ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen erhalten. Gerade diese Fabrikationsweise aber, die allerdings

zu vorzüglichen Isoliermassen führt, hat heute zum Teil an Bedeutung verloren, da die zur Aufarbeitung gelangenden Braunkohlen meist zu bitumenarm sind, um sich für eine derartige Verwendung zu eignen. In den meisten Fällen geht man bei der Verarbeitung des Teers so vor, daß man denselben erst destilliert, wozu unter anderen E. Wernecke einen stetig arbeitenden Destillationsapparat mit direkter Feuerung konstruierte. Derselbe hat an den inneren Wänden, die trichterförmig sind, Tassen angeordnet, um hierdurch eine möglichst große Verdampfungsoberfläche zu erhalten.

Dann folgt durch eine chemische Behandlung des Destillats die Trennung der Nebenprodukte vom Paraffin, welch letzteres dann durch Auskristallisierenlassen gewonnen wird. Alle Abänderungsversuche des eben angedeuteten Verfahrens haben in der Praxis der Braunkohlenteerdestillation keinen Eingang gefunden.

Die Destillation des Teers erfolgt in gußeisernen Blasen, fast immer im Vakuum. Die Blasen fassen etwa 2—3 cbm Teer. Auf der Blase ist ein gußeiserner Deckel mit dem Blasenrüssel, dem Abzug für die Dämpfe, aufgeschraubt; überdies besitzt der Deckel in der Mitte ein 50 cm weites Mannloch, welches natürlich bei der Destillation geschlossen bleibt und mit Lehm abgedichtet wird. (Graefe, op. cit.)

Sicherungsventile dürfen selbstredend auch hier nicht fehlen. Als Feuerung dienen Planrostfeuerungen, und durch entsprechende Anlage ist Sorge zu tragen, daß die Blasen gleichmäßig vom Feuer umspült werden; man verwendet auch Kreosotöl und Säureharze zur Feuerung. Durch ein Schauloch ist es möglich, den Stand der Feuerung jederzeit zu beobachten. Man destilliert $^2/_3$ des Teers und treibt dann das Teerresiduum in kleineren Blasen von 15 hl Inhalt bis zur Rotglut ab. Selten werden diese beiden Operationen in eine vereint. Vom Blasenrüssel aus gelangen die Dämpfe durch eine Kühlschlange, die sich in einem hölzernen oder eisernen, mit Wasser gefüllten Kühlgefäße befindet, durch den sogenannten Fischbauch, ein mit Schauglas versehenes, in der Mitte erweitertes Rohrstück, in die Vorlagen. Die Vakuumleitung schließt im oberen Ende des Fischbauches an, und ein Vierweghahn gestattet ein entsprechendes Umschalten, um Teile der Anlage während des Betriebes ausschalten zu können, speziell die Vorlagen zu wechseln.

Diese Vorlagen fassen ungefähr bis 150 kg Destillat. Bei der Destillation des Teerresiduums fehlt der Fischbauch, da hier ein Verstopfen der Leitung zu befürchten wäre. Die für das Vakuum dienenden Kolbenpumpen oder wohl auch Körtingschen Dampfstrahl-Exhaustoren sind nicht unmittelbar an den Apparat angeschlossen, um ein Mitreißen flüssiger Destillationsprodukte zu diesen unmöglich zu machen.

Bei der Destillation gehen zu Beginn ungefähr 30 % des Teers an Rohöl über, dann folgen, besonders aufgefangen, die Paraffine, bis ungefähr $^2/_3$ des Teers abdestilliert sind. Das so zurückbleibende Residuum wird für sich zur Trockene destilliert, wobei sich hauptsächlich erst die harten Paraffinmassen, dann zum Schluß rotbraun gefärbte Massen ergeben. Die letzteren entstehen infolge pyrogener Zersetzung und müssen gesondert aufgefangen werden. Sie enthalten aromatische Kohlenwasserstoffe. Die rückbleibenden Reste dieser Zersetzungsprodukte werden durch Dampf aus den Rohrleitungen entfernt. Die wiederholte Destillation der Paraffinmassen hat sich als weniger günstig erwiesen. Der rückbleibende Teerkoks kann nach nochmaligem Glühen zur Fabrikation von Kohlen für die elektrische Industrie gebraucht werden. Die bei der Destillation entstehenden Gase, namentlich jene bei der Abtreibung des Teerresiduums, können infolge ihres hohen Heizwertes von 7000—9000 Kalorien zum Betreiben von Gasmotoren, nach vorheriger Reinigung der beträchtlichen Mengen an Schwefelwasserstoff, benutzt werden. So gewinnen wir zunächst aus dem Teer

Rohöle, Paraffine, rote Produkte, Koks und Gas. Die Öle sowohl wie die Paraffinmassen werden vor ihrer Weiterverarbeitung der Einwirkung von Schwefelsäure (man verwendet Säure von 1,530—1,710 spezifischem Gewicht, eventuell unter Zugabe von Sulfaten) und hierauf von Natronlauge (von 1,357 spezifischem Gewicht) mehrmals ausgesetzt, wobei zuerst das Vorsäuern mit 50grädiger Säure, dann das Gutsäuern mit einer Säure von 1,842 spezifischem Gewicht, hierauf ein Auswaschen mit Wasser, dann das Vorlaugen und Gutlaugen und erneuertes Waschen mit heißem Wasser folgt.

Durch das Behandeln mit verdünnter Säure wird ein Trocknen und ein Entziehen von Pyridin und den übrigen Basen bewirkt, während die Säure von 1,842 spezifischem Gewicht die färbenden Anteile und eventuell solche, die ein Nachdunkeln der Produkte bewirken würde, entfernt. Die Lauge hingegen löst die phenolartigen Körper aus. Nach dieser Behandlung werden die Öle einer wiederholten Destillation unterzogen, während die Paraffine durch Kristallisation gereinigt werden. Wir sehen demnach, daß der konzentrierten Schwefelsäure die Aufgabe von Substitutionen, Polymerisationen, auch Oxydationen obliegt.

Dieser Überblick genügt, um über die Methoden der Reinigung Aufschluß zu geben. Diese Methoden werden für die einzelnen der Öle bis zu einer gewissen Grenze variiert, wobei man z. B. entweder Spiritus bei den Laugen mitverwendet oder, um die Beständigkeit der Farbe der Öle zu erhöhen, mit Wasserglaslösungen wäscht. Auch um die Fluoreszenz zu beseitigen, behandelt man die Öle mit sogenannten Entscheinern wie mit dem gelbfarbigen Nitronaphthalin und trennt die Öle dann durch Absetzenlassen von den ungelöst gebliebenen Entscheinern. Die Mischoperationen werden in hölzernen oder in eisernen, innen verbleiten Gefäßen vorgenommen. Als Nebenprodukte werden bei diesen Mischprozessen Säureharze und Kreosotnatron gewonnen, welche entweder auf Kreosotöl und sogenannten Asphalt verarbeitet oder mit Pyridinbasen gewonnen werden. In vielen der Fabriken hat man infolge des hohen Heizwertes (8000 Kalorien) die Gemische von Harz und Kreosot direkt mit Dampf zerstäubt unter den Blasen verbrannt. Das Kreosotnatron diente wohl auch zum Imprägnieren von Grubenhölzern. Die Wiederaufarbeitungsmethoden der zu diesen Reinigungsverfahren dienenden Schwefelsäure bzw. das Ätznatron scheinen sich kaum Eingang in die Industrie verschafft zu haben.

Das wertvollste Produkt des Braunkohlenteers ist entschieden das Paraffin, welches durch Kristallisation aus den Ölen gewonnen wird. Andere Verfahren zu diesem Zwecke haben sich nicht bewährt.

Das Kristallisieren erfolgt in eisernen Kühlzellen von entweder zylindrischer oder rechteckiger Form. Die sich ausscheidenden Kristalle — es sind braune Schuppen — werden in Filterpressen, hierauf in hydraulischen Pressen unter gleichzeitiger Erwärmung gepreßt, wobei im ersteren Falle etwa 30 % Öl noch gewonnen werden und sich zunächst gelbe Paraffinschuppen ergeben, während in den stehenden hydraulischen Pressen bei einem Druck von etwa 150 Atmosphären die Ölmenge auf 5—10 % herabgedrückt werden kann. Hierauf wird das Paraffin geschmolzen, mit 10—20 % Benzin versetzt, mit direktem Dampf aufgekocht und auf Wasserbassins ausgegossen, wo es erstarrt. Durch wiederholtes hydraulisches Pressen bzw. durch eine Destillation oder durch längeres Lagernlassen des rohen Paraffins in geheizten Räumen, das sogenannte „Schwitzen", erhält man eine Paraffinmasse, welche nur mehr 0,2—0,5 % Benzin enthält. Diese restlichen Anteile an Benzin werden mit Hilfe von Wasserdampf und Anwendung von Vakuum aus dem Paraffin entfernt, worauf das Paraffin „gekohlt", d. h. entfärbt wird. Dieses Entfärben erfolgt in den meisten Fällen mit Blutlaugen-

salzrückständen und fein verteiltem Ton. Es sind übrigens eine ganze Reihe von Stoffen zum Entfärben von Paraffin vorgeschlagen worden, was hier erwähnt sei. Das Aufarbeiten der weichen Paraffinmassen ist völlig analog jener der harten Paraffine, nur mit dem Unterschied, daß man in letzterer Zeit, um höhere Ausbeuten zu erzielen, das Auskristallisieren bei möglichst weitgehender Kühlung zu erreichen sucht.

Die Verwendung des Paraffins ist eine überaus vielseitige. Halbreine Produkte dienen zum Imprägnieren von Streichhölzern, während reines Paraffin zum Appretieren von Geweben, in der pharmazeutischen Technik, ferner für Isolationszwecke in der elektrotechnischen Industrie, dann zu Flaschenverschlüssen, zur Herstellung von Wachs- und Ölpapieren, ferner zum Dichten von Konservenbüchsen Verwendung findet. Erwähnt sei auch, daß zum Wachsen von Garnen, von Leder, Papier und Geweben ganz beträchtliche Mengen von Paraffin verbraucht werden. Die allerwichtigste Verwendung aber finden die Paraffine zur Herstellung von Kerzen, sei es für sich oder in Gemischen, sogenannten homogenen festen Lösungen mit Stearin (Stearin- und Palmitinsäure). Da der Wert der Paraffine nach der Höhe ihres Schmelzpunktes bemessen wird, hat es an Versuchen nicht gefehlt, diesen durch Zusätze zu erhöhen, so durch Montanwachs, durch Anilide hochmolekularer Fettsäuren und ähnlicher Zusätze.

Einen nicht unwichtigen Anteil an der wirtschaftlichen Bedeutung der Braunkohlenteer-Industrie nimmt noch die Produktion der Braunkohlenöle ein. Sei es, daß diese als Brennöle, als Motoröle, zum Putzen fetthaltiger Metallteile, zum Extrahieren, endlich zur Erzeugung von Gas in Frage kommen. Die durch Lagerung, unter eventueller Zuhilfenahme von Dampf geklärten Öle werden gewöhnlich entweder in eisernen Kesselwagen oder in hölzernen bzw. blechernen Barrels zum Versand gebracht. Meist unterscheidet man bei den Ölen zwischen Benzin, Solaröl, Putzöl, Gelb- und Rotöl, Gasöl und Paraffinölen. Diese Unterscheidungen sind allerdings nicht einheitlich gebraucht, aber am meisten üblich. Das Braunkohlenteerbenzin ist eine bläulich fluoreszierende Flüssigkeit von einem spezifischen Gewicht von 0,79—0,89, welche zwischen 110—200° C siedet. Seiner Verwendung zur Reinigung von Paraffin haben wir bereits oben gedacht.

Die Anteile, welche zwischen 140—240° sieden und ein spezifisches Gewicht von 0,825—0,83 zeigen, werden als Solaröl bezeichnet und dienen heute, da ihre Verwendung als Brennöl kaum von Bedeutung ist, zum Betriebe von Explosionsmotoren. Da diese Öle kohlenstoffreicher sind als das amerikanische Petroleum, bedürfen sie bei der Verbrennung in Lampen einer reichlichen Luftzufuhr, um nicht zu rußende Flammen zu geben. Vor dem Petroleum bieten sie den Vorteil, leuchtkräftiger zu sein. Die Entfernung des Schwefels aus den Solarölen, welche früher dem Techniker sehr am Herzen lag, ist heute ohne Bedeutung.

Von gelbem Schein sind jene Ölfraktionen, welche ein spezifisches Gewicht von 0,850—0,865 aufweisen und zwischen 200—300° sieden. Sie werden zum Putzen von fetthaltigen Metallteilen, zur Darstellung von Wagenfetten und ähnlichen Zwecken benutzt und als Putzöle bezeichnet.

Die nächsten Fraktionen von einem spezifischen Gewicht von 0,865—0,880 finden analog den Gasölen, welche ein spezifisches Gewicht von 0,880—0,900 aufweisen, zur Darstellung von Ölgas Anwendung und werden infolge ihrer dunkleren Farbe als Gelb- oder Rotöle bezeichnet. Das Ölgas, von besonderer Leuchtkraft, wird heute entweder für sich oder gemischt mit Azetylen, mit letzterem namentlich zum Beleuchten von Eisenbahnwagen (Pintschgas), verwendet. Weiter dient das Gasöl für das Karburieren von Wassergas, ein Prozeß, welcher heute mit der Darstellung von Wassergas, wie wir bereits im vorstehenden beschrieben, zusammenfällt.

Zu diesem Zwecke verwendet man meist Ölsorten von einem spezifischen Gewicht von 0,898—0,900. Leybold hat seinerzeit ausgeführt, daß sich zu diesem Zwecke die Braunkohlenteeröle besser eignen als Petroleum. Zu gleichem Zwecke dient das Ablauföl (Paraffinöl) von der weichen Paraffinmasse, welches ein spezifisches Gewicht von 0,900—0,93 aufweist. Dieses Öl wird infolge seines hohen Kalorienwertes von 10050 Wärmeeinheiten auch zum Betriebe von Diesel-Motoren, für welche sich Öle mit höherem Wasserstoffgehalt besser eignen (Rieppel), immer mehr aufgenommen. Vielleicht läßt sich übrigens nach dem Vorschlage von Krey durch Destillation unter Druck das Paraffinöl noch in Öle niedrigeren spezifischen Gewichts umwandeln, eine Frage, die allerdings momentan nicht so aktuell ist, jedoch später vielleicht von Bedeutung werden könnte. Daß die Öle zur direkten Feuerung in der Keramik und bei anderen Industriezweigen zur Erzeugung einer reinen, aschenfreien Flamme zu dienen vermögen, bedarf eigentlich keines besonderen Hinweises.

Endlich sei noch kurz des Blasenrückstandes bei der Destillation der Kreosotöle gedacht, einer spröden, tiefschwarzen, glänzenden Masse, welche als sogenannter Asphalt gleich anderen Asphaltarten Verwendung findet. Die Masse schmilzt bei 70 bis 100° und wird entweder als Zusatz zu Naturasphalt, zur Herstellung von Eisenlacken oder endlich in der Fabrikation von Dachpappe in ganz analoger Weise wie die Steinkohlenteerasphalte in Anwendung gebracht; weichere Produkte oder mit Paraffinöl versetzte Asphalte werden wie die bei der Destillation der Ablauföle der Paraffinmassen gewonnenen Ölrückstände als Goudrone bezeichnet und finden in analoger Weise in der Dachpappenfabrikation, in jener zur Darstellung von Holzzement, zu Isolierungsmassen gegen Feuchtigkeit u. a. m. Verwendung. Werden die Ölrückstände weiter destilliert, so ergeben diese den sogenannten Ölasphalt, der gleich dem Säureharzasphalt namentlich in der Lackfabrikation von Bedeutung ist. So wurden hier auf einem engbegrenzten Gebiete eine Reihe von Produkten gewonnen, die von eminenter technischer Bedeutung sind.

AUSBLICKE. Der Verbrauch an Kohle ist gleich demjenigen an Eisenerzen ein enormer geworden, die Mengen aber der beiden genannten Ausgangsstoffe eine begrenzte, so daß die derzeitige Entwicklung aller damit zusammenhängenden Industrien von dem Vorhandensein dieser Schätze der Erde abhängt. Von diesen Rohstoffen gibt uns der eine — die Kohle — unsere Teere, so daß die Beschaffung des Teers von dem Vorrat an Kohle abhängig ist.

Dem menschlichen Geiste liegt dieses Problem des Ersatzes der Kohle noch vor, welches zu lösen erst der nächsten Zeit vorbehalten bleibt. Die Umwandlung der Energieformen (Wärme in Licht usw.) hat so manches Neue geboten, vielleicht gelingt es durch sie, den Kohlenstoff oder dessen zugängliche Verbindungen dann zu neuen Verbindungen zu gestalten,* welchen als Farbstoffe, Heilmittel, Riech- und Süßstoffe usw. eminente wirtschaftliche Bedeutung zukommt.**

* Teer aus Karbiden! Vergl. F. Russig, Chemische Zeitschrift, I, S. 91.

** Benutzte Literatur: H. Ost, Lehrbuch der chemischen Technologie. 6. Auflage. Verlag von Dr. M. Jänecke, Hannover. — Lunge-Köhler, Die Industrie des Steinkohlenteers und Ammoniaks. Verlag von Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. — A. Spilker, Kokerei und Teerprodukte der Steinkohle. 1908. Verlag von W. Knapp, Halle a. S. — W. Scheithauer, Die Fabrikation der Mineralöle und des Paraffins. Verlag von Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. — Ed. Graefe, Die Braunkohlenteerindustrie. 1906. Verlag von W. Knapp, Halle a. S. — Periodische Literatur chemischen und chemisch-technischen Inhalts.

Das Manuskript wurde Ende Juni 1910 abgeschlossen. Donath und Ulrich.

DIE VERARBEITUNG DES SCHMIEDBAREN EISENS IM HÜTTENBETRIEBE*

VON G. STAUBER

Der im ersten Bande geschilderte Werdegang des schmiedbaren Eisens war charakterisiert durch das Bestreben, aus Erzen von bestimmter Zusammensetzung eine Eisenart zu erzeugen, welche nicht nur für die Formgebung unter Hämmern oder Pressen oder zwischen den Walzen von Walzwerken geeignet sein mußte, sondern welche auch immer mehr gesteigerten Ansprüchen an Festigkeit und Gleichartigkeit seines Gefüges entsprechen konnte.

Der Konstrukteur sieht sich auf allen Gebieten zu ständig wachsenden Beanspruchungen der Materialien gedrängt, mit welchen er seine Werke zu erstellen hat, und jeder Fortschritt des Hüttenmannes bezüglich der weiteren Verbesserung der Materialeigenschaften setzt jenen in den Stand, an neue Probleme heranzutreten, vor denen er bis jetzt haltmachen mußte. Das Gußeisen mit seiner geringen Festigkeit gegenüber Zug und Biegung ist heute auf Verwendungsfälle beschränkt, bei welchen nur verhältnismäßig kleine Belastungen aufzunehmen sind bzw. bei welchen schwere Dimensionierung nicht störend wirkt, sondern vielmehr erwünscht ist, wie etwa bei den Fundamentrahmen von Maschinen; es versagt aber bereits bei der Verwendung im Hochbau, wo der Flußeisenträger in seinen verschiedenen Formen fast allein das Feld behauptet, und es ist völlig unbrauchbar für die hochbeanspruchten bewegten Teile der Kolben- und Rotationsmaschinen.

Auch mit Schweißeisen allein wären die Ingenieurwerke unserer Zeit nicht durchzuführen gewesen; der Grund dafür liegt vom Standpunkt des Konstrukteurs aus wieder einfach darin, daß jede Festigkeitsberechnung ein praktisch genügend homogenes Material voraussetzen muß. Das Schweißeisen kann aber der Natur seiner Entstehung nach niemals in solchem Sinne homogen sein; die Bearbeitung durch Strecken und Stauchen im Werdegang zum fertigen Schmiedestück ist allein nicht imstande, die im Material enthaltene Schlacke völlig auszuwerfen, und diese Schlacke muß insbesondere eine Schweißfuge immer als unganze Stelle erscheinen lassen, welche bei oft wiederholter ruckweiser Beanspruchung zum Ausgang eines Bruches werden kann. Das Material verträgt dementsprechend nur verhältnismäßig geringe Beanspruchung, wodurch für die hohen Kräfte, mit denen der Maschinenbau vor allem rechnen muß, unzulässig schwere Formen sich ergeben müßten.

Das Flußeisen ist zwar wegen der Lunkerbildung im gegossenen Block ebenfalls nicht völlig homogen, aber es ist bei ihm doch möglich, durch die Materialverdichtung während der nachfolgenden Formgebung eine derartige Verbesserung der Materialeigenschaften zu erzielen, daß mit wesentlich höheren spezifischen Beanspruchungen sowohl als auch an sich erhöhter Sicherheit gerechnet werden kann. Ist für besondere Verwendungszwecke darüber hinaus eine weitere Verbesserung des Materials nötig, so kann durch verschiedene Verfahren eine Verhinderung der Lunker-

---

* Mit Benutzung von Lehrmitteln der Kgl. Technischen Hochschule zu Charlottenburg.

bildung in der Kokille Hand in Hand gehen mit der Beimischung besonderer Zusätze. Erst mit solchen Stahlsorten ist es möglich geworden, die Dampfturbinen auszubilden, bei deren Scheiben der Quadratzentimeter mit fast 2000 kg belastet werden muß; nur mit solchem Material ist es dem Menschen gelungen, den leichten Flugmotor zu bauen, welcher ihn der Erfüllung Jahrtausende alter Träume nähergebracht hat, und wir kennen eine ganze Reihe weiterer Ziele, deren Erreichung aber ein Konstruktionsmaterial voraussetzt, über welches wir zurzeit noch nicht verfügen.

Die Bedeutung der Eisenindustrie ist in unseren Tagen eine geradezu überwältigende geworden. Ein Zeitalter, welches den Eifelturm bereits als Inventar von seinem Vorgänger übernommen hat, welches viele Millionen Tonnen Stahl in Form von Schlachtschiffen schwimmen sieht, welches die Völker der ganzen Welt in immer schwerere Rüstung hineinwachsen läßt, ebenso wie es die kulturbringende Stahlschiene durch Urwald und Wüstensand vortreibt, ein solches Zeitalter nennen wir heute schon mit Recht das „stählerne", und Stahl und Eisen werden in ihm noch ungeahnte Triumphe feiern.

Es wäre wohl möglich gewesen, in gedrängter Kürze jene Betriebe zu schildern, welche sich mit der Verarbeitung des schmiedbaren Eisens in Hüttenwerken beschäftigen; wenn in den nachfolgenden Erörterungen trotzdem auf breiterer Basis der Versuch unternommen ist, auch Einzelheiten dem allgemeinen Verständnis zugänglich zu machen, so ist es in der Absicht geschehen, die Leitgedanken herauszuschälen, welche den heutigen Einrichtungen zugrunde liegen, und welche sich kommende Fortschritte zum Ausgangspunkt zu nehmen haben. Der Ingenieur anderer Fachrichtungen wird dabei manchen alten Bekannten in anderem Gewand wiederfinden, der Laie dagegen einen tieferen Einblick in ein Arbeitsgebiet erlangen können, welches auch heute noch vielfach nicht genügend bewertet wird.

1. ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE

Die eigentliche Aufgabe der hüttenmännischen Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens besteht darin, jene Grundformen der Konstruktionsmaterialien zu erzeugen, in welchen das Eisen in den Handel kommt, und außerdem während solcher Formgebung durch Verdichtung bei genügend hohen Temperaturen die Eigenschaften der Materialien noch so weit zu verbessern, als es unabhängig von deren Erzeugung möglich ist.

Mit kaufmännischer Kürze teilt der Stahlwerksverband die Produkte des hüttenmännischen Großbetriebes ein in:

1. Produkte „A", d. h. vorgewalzte Produkte einfacher rechteckiger Profile als Vorstufen weiterer Formgebung unter dem Namen Halbzeug, ferner Eisenbahnoberbaumaterial, Belag- und Formeisen wie etwa T- und I-Träger, U-Eisen usw., und zwar in Profilhöhen über 80 mm;

2. in Produkte „B", welche die Formeisen unter 80 mm Höhe umfassen, sowie außerdem Stabeisen einfacher runder oder eckiger Profile, Walzdraht, Bleche, Röhren, Guß- und Schmiedestücke.

Bei dieser Weiterverarbeitung verlieren die metallurgischen Aufgaben, welche für die Erzeugung des schmiedbaren Eisens die Hauptrolle spielten, mehr und mehr von ihrer Bedeutung; die Kardinalforderung, mit welcher der Hüttenmann das von ihm erzeugte und mit bestimmten Eigenschaften versehene Material weitergibt, geht einfach dahin, die nachfolgende Formgebung bis zur Verladung in den Bahnwagen mit möglichst geringen Selbstkosten zu belasten, und diese Forderung löst rein

maschinentechnische Fragen aus; ihre Lösungen verleihen einem Hüttenwerk unserer Tage jenes großartige Gepräge, welches auch dem flüchtigen Besucher unvergeßlich bleibt.

In dem Bestreben, unabhängig von der kaufmännischen Unterstützung durch geringste Betriebskosten die Ertragsfähigkeit einer Anlage auch bei schlechter Konjunktur zu sichern, wird man zunächst daran denken, durch weitgehende Spezialisierung der Einrichtungen die Gestehungskosten des einzelnen Fabrikats zu verringern; die jeweils verschiedene Aufnahmefähigkeit des Weltmarktes setzt jedoch diesem Bestreben eine Grenze, und es muß wohl späteren Zeiten vorbehalten bleiben, auch bei uns in Deutschland die Spezialisierung in Hüttenerzeugnissen mit Erfolg so weit zu treiben wie in den Vereinigten Staaten, im Lande der großen Interessengemeinschaften.

Dagegen ist unbedingt erreichbar und zielbewußt anzustreben günstigste Energiewirtschaft im gesamten Betrieb des Werkes. Dazu gehört vor allen Dingen richtige Wahl der weitverzweigten Einzelantriebe, also Durchführung des elektrischen Antriebes mit den bekannten Vorzügen des elektrischen Zentralbetriebes und den geringstmöglichen Übertragungsverlusten. Elektrizität als Betriebsmittel hat heute an fast allen Stellen Dampf oder Preßwasser verdrängt, wo man sich eben die Mühe genommen hat, die Motoren den gegebenen Betriebsverhältnissen anzupassen; an wenigen Stellen nur ist der außerordentlich ungünstigen Umgebung halber der Preßwasserbetrieb beibehalten worden, hauptsächlich wegen seiner Anspruchslosigkeit und Unempfindlichkeit gegen Staub und Hitze. Ferner ist möglichst weitgehende Verwertung der Hochofengase zur Energieerzeugung in großen Maschineneinheiten erforderlich, und zwar in Maschinen, welche aus einer gegebenen Gasmenge größte Energiemenge freizumachen vermögen. Die Stromerzeugung durch Gasmaschinenantriebe statt durch Dampfmaschinen (Abbildung 1), verlangt wohl eine gründlichere Reinigung des Gases von mitgeführtem Gichtstaub mit einem gewissen Kraft- und Kostenaufwand, sie erfordert fernerhin für die Kraftmaschinenanlage eine größere Reserve, denn die Gasmaschine kann, der Natur ihres Arbeitsvorganges entsprechend, niemals dieselbe Stufe der Betriebssicherheit erreichen wie die Dampfmaschine, welche mit fertigem Betriebsmittel und wesentlich geringeren inneren Temperaturen arbeitet. Dagegen kann in den Gasmaschinen gegenüber Dampfmaschinen fast die doppelte Energiemenge aus gleicher Gasmenge freigemacht werden, und das muß natürlich den Ausschlag geben in einem umfangreichen Gesamtbetrieb, in welchem jede in der Zentrale mehrerzeugte Kilowattstunde unwirtschaftlicher arbeitende kleine und große Dampfantriebe zur Ablösung gelangen läßt. Dieselbe Überlegenheit des Gasantriebs kommt auch in den Gebläseanlagen zur Geltung, wo das heute fast ausschließlich noch verwendete Zylindergebläse direkten Antrieb durch eine Gasmaschine gestattet. Es ist möglich geworden, die Gasmaschine den verschiedenartigsten Veränderungen der Windlieferung anzupassen, sowohl durch Tourenänderungen des Antriebes als auch durch entsprechende Steuerungen an den Gebläsen selbst, und so ist man heute in diesen Betrieben zu fast einheitlichen Formen gelangt, welche wohl so lange beibehalten werden, als es noch nicht wirtschaftlich und betriebssicher arbeitende Verbrennungsturbinen gibt. In den wenigen Fällen aber, wo die Kalkulation dem elektrischen Antrieb gegenüber noch am Dampfantrieb großer Einheiten festhalten läßt, wo aber die besonderen Betriebsverhältnisse keine so weitgehende Ausnutzung des Dampfes zulassen wie in normalen hochwertigen Betriebsmaschinen, da kann eventuell in Abdampfturbinen die weitere Dampfausnutzung zur Unterstüzung der elektrischen Zentrale herangezogen werden.

Weiterhin bedingt günstige Energiewirtschaft auch Heranziehung der Hüttenabgase zu Feuerungszwecken für Öfen aller Art, immer in der Überlegung, daß ein Ersatz von Steinkohlen durch Abgase als fühlbarer Gewinn in Erscheinung tritt; Vermeidung grober Gasvergeudung, wie sie wohl sehr häufig an den Hauptverbrauchsstellen, den Winderhitzern, auftritt, wird die Möglichkeit ergeben, weitere Gasüberschüsse entweder zu den Öfen des Walzwerks oder zur Kraftzentrale zu schicken.

Enorme Energiemengen sind endlich zu sichern durch Weiterverarbeiten des Roheisens aus den Hochöfen zu schmiedbarem Eisen in flüssigem Zustande und des gegossenen Flußeisenblocks zu Walzprodukten möglichst in eigener Hitze. Die einschneidende Betriebsverbilligung, welche sich gerade aus der Verwertung der Abgase und der Eigenwärme des flüssigen Roheisens ergibt, begründet die wirtschaftliche Überlegenheit der gemischten Hochofen-Stahlwalzwerke gegenüber örtlich weit getrennten Anlagen für Roheisen- und Stahlerzeugung; denn bei solcher Trennung ist dem Hochofenwerk eine ausgiebige Verwendung seiner Abgase unmöglich gemacht, das Stahl- und Walzwerk dagegen muß nicht nur seinen Energiebedarf aus Kohlen decken, sondern auch das in fester Form ankommende Roheisen wieder umschmelzen. Die Zusammenlegung getrennter Anlagen, welche neuerdings häufig zu beobachten ist, beweist die Richtigkeit dieses Gedankenganges.

Von gleich großer Bedeutung für die Rentabilität eines Werkes wie eine verstän-

Abbildung 1. Gasmaschinenzentrale und Gebläsemaschinenanlage der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-Aktiengesellschaft, Abteilung Friedrich-Wilhelms-Hütte, Mühlheim (Ruhr).

Abbildung 2. Rollmischeranlage der Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen-Friemersheim.

dige Energiewirtschaft ist die richtige Lösung der Transportaufgaben, besonders im Stahl- und Walzwerk. Weitgehender Ersatz des Menschen durch die Maschine macht hier wie anderwärts die Betriebsleitung unabhängiger von Lohnfragen und Schwierigkeiten des Arbeiterersatzes; eine fühlbare Verbilligung ist jedoch dabei nur dann zu erreichen, wenn eine großzügige örtliche Disposition Sorge getragen hat, daß die Transportmittel bei ungehinderter Erweiterungsfähigkeit der Anlagen im richtigen gegenseitigen Zusammenarbeiten auch stets völlig ausgenutzt werden können. Die eigentliche Bedeutung des maschinellen Materialdurchganges im Hüttenbetriebe liegt vielfach darin, daß erst durch ihn die Produktion auf die höchste Grenze aller Einzeleinrichtungen getrieben werden kann. Damit steht nicht im Widerspruch, daß an manchen Stellen genügend geräumiger Betriebe, wie etwa auf den Verladeplätzen für Fertigprodukte, die Einrichtung maschinellen Transportes sogar unrentabel sein kann, wenn nämlich selbst bei höchster Produktion des Walzwerks billiger Tagelöhnerbetrieb ohne gegenseitige Klemmungen durchgeführt werden kann. Hier könnte also sogar eine zu kostspielig angelegte Transportanlage bei verringerter Produktion die Selbstkosten drücken, anstatt den Betrieb zu vereinfachen.

2. TRANSPORTAUFGABEN IN DEN STAHLWERKEN

Im Thomaswerk wie auch im Martinswerk sind es nach der Erzeugung des schmiedbaren Eisens in flüssiger Form zunächst Transportaufgaben, welche sowohl bezüglich der Betriebssicherheit der Einzelkonstruktion als auch bezüglich der richtigen Gesamtanordnung des Materialdurchganges besondere Überlegungen

notwendig machen. Wenn der Vollbetrieb der Anlage zugrunde gelegt bleibt für die Bewertung der Transportmittel, so wird im allgemeinen an den einzelnen Stellen keine oder nur geringe Reserve vorhanden sein; Betriebsstörungen können hier also durch den gleichzeitigen Produktionsausfall so teuer werden, daß gerade für die besonderen Einrichtungen, denen die Weiterbewegung des Materials in seinen verschiedenen Formen übertragen ist, das Beste eben recht erscheint. Die Neigung zu billigen auswechselbaren Konstruktionen, die man häufig noch trifft, zuungunsten soliderer, aber dafür teuerer, verbietet sich hier durchaus. Von rein konstruktiven Gesichtspunkten gesehen, hängt für die Hebe- und Transportmittel die Betriebssicherheit

Abbildung 3. Konverteranlage der Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen-Friemersheim.

naturgemäß eng zusammen mit der zuverlässigen Beherrschung der an einer Maschine vorkommenden Bewegungsarten, und in dieser Beziehung bewertet man noch stellenweise die Elektrizität als Betriebsmittel schlechter als Preßwasser oder Dampf; demgegenüber ist festzustellen, daß sich die Elektrizität genau so gut zu kurzen und sicheren Bewegungen geeignet zeigt wie das Preßwasser, dem man dafür lange ein Privilegium vorbehalten glaubte. Die Frage ist nicht mehr, ob der Elektromotor in das Stahl- und Walzwerk paßt, sondern wie er sich den Betriebsverhältnissen unterzuordnen hat; allerdings mußte das meiste Lehrgeld in dieser Richtung naturgemäß im Stahlwerk gezahlt werden, wo an sich schon die ungünstigsten äußeren Bedingungen für Maschinen jeder Art bestehen, und wo man sich auch in bezug auf die Behandlung an robuste Hilfsmittel gewöhnt hatte.

* *
*

DIE TRANSPORTAUFGABEN IM THOMASWERK sind verschiedener Art; zunächst ist das von den Hochöfen zu den Mischern gebrachte flüssige Roheisen von dort wieder abzuholen und zum Chargieren der Birnen vor diese zu verfahren. Diese Aufgabe ist an sich leicht mit Wagen (Abbildung 2 u. 3) zu lösen, welche das Roheisen im Mischerhaus abholen und auf gleichem Gleise zur Bedienungsbühne des Konverterhauses bringen, wo es in die horizontalgelegten Birnen eingegossen wird. Der Wagenbetrieb hat hier ein sehr einfaches Arbeitsprogramm und bringt auch konstruktiv keine Schwierigkeiten; elektrischer Antrieb für die Bewegung der Pfanne und des Wagens selbst ist in durchaus betriebssicherer Weise durchzuführen. Wesentlich schwieriger wird dagegen der Wagenbetrieb für die weitere Aufgabe, in einer zweiten Pfanne unterhalb der Bedienungsbühne das fertig erblasene Material wieder zu übernehmen und in einer Gießhalle auf Kokillen zu vergießen, d. h. in jene Blockform zu bringen, mit welcher das Flußeisen zur eigentlichen Weiterverarbeitung gelangt. Dabei wird zunächst die Pfannenbewegung komplizierter, da die Pfanne dem Kippen der Birne zu folgen hat (Abbildung 4); für die Bewegung der Pfanne wird absolute Sicherheit verlangt, um Unglücksfälle zu vermeiden; die Pfannenlagerung bedingt eine Auslegerkonstruktion mit Gegengewicht, und das Wagengewicht wird damit ganz wesentlich vergrößert. Der Entwicklungsgang dieser

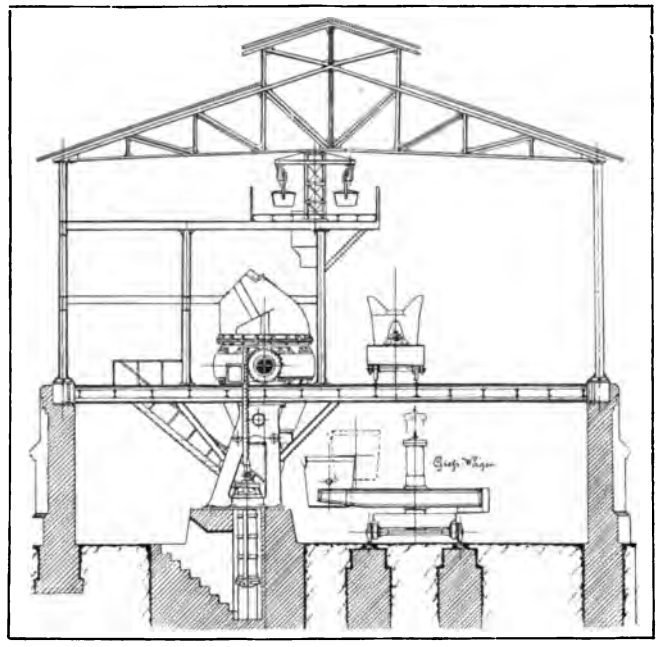


Abbildung 4. Disposition eines Konverters im Stahlwerk.

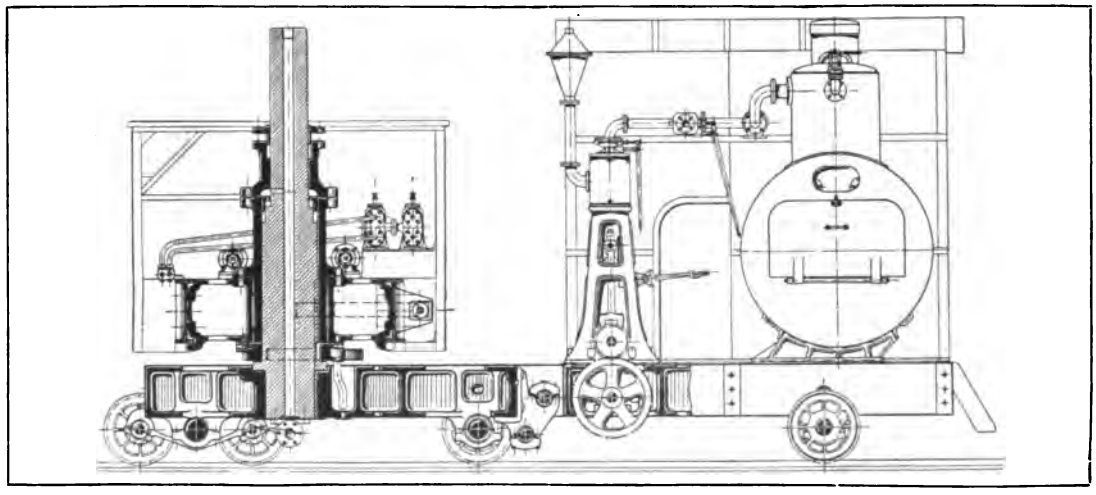


Abbildung 5. Dampfhydraulischer Gießwagen mit verlängerter Säule.

Gießwagen fiel noch in eine Zeit, wo der elektrische Betrieb noch vor seiner Einführung in das Hüttenwerk stand; es lag nahe, dem Wagen nur hydraulische Pfannenbewegungen zu geben und ihn mit eigener Dampferzeugung für den Antrieb einer Fahrmaschine und einer Preßpumpe zu versehen. In diesem Entwicklungsgange hat der hydraulische Gießwagen allmählich eine konstruktiv sehr gute Durchbildung erfahren und dabei seine robuste Einfachheit doch beibehalten, welche ihm von Anfang an den Ruf hoher Betriebssicherheit eingetragen hat (Abbildung 5 u. 6). So erhielt zum Beispiel die geteilte Wagenplatte mit Rücksicht auf Gleisunebenheiten Balancierlagerung; der Dampfkessel sowie die beiden Maschinen wurden soweit als irgend möglich wirtschaftlichen Forderungen angepaßt und in sämtlichen Antrieben die Stirnradübertragung an Stelle derjenigen durch Kegel- oder Schraubenräder gesetzt, welche bei Lagenveränderungen ihrer Wellen einem zu starken Verschleiß unterworfen sind. Es ist gewiß nicht zu bestreiten, daß die Verwendung von Preßwasser und Dampf die Sicherheit einer derartigen Konstruktion sehr erhöht. Beide Betriebsmittel sind dem einfachen Maschinisten gut vertraut, ihre Bedienung ist ohne Schwierigkeiten und ohne Überraschungen, auch bei schlechter Behandlung. Aber die völlige Selbständigkeit, welche man dem hydraulischen Gießwagen nachrühmen kann, führte dazu, daß er in seiner besten Form geradezu ein ganzes Maschinenhaus mit entsprechender Bedienung ständig mitzuschleppen hat, und daß er dadurch für flotten Betrieb bei großen Fahrlängen, zu welchen ihn die gebräuchliche Disposition zwischen den Birnen und Gießgruben zwingt, beinahe zu schwerfällig wird.

Der elektrische Betrieb ließ also hier zunächst leichtere Konstruktionen erwarten, dann aber mußte er notwendigerweise in Betracht gezogen werden bei billigen Stromkosten in der Hütte, und es konnte dabei unter allen Umständen auf einfacheren und billigeren Transport im Stahlwerk gerechnet werden; in dieser Annahme ist man

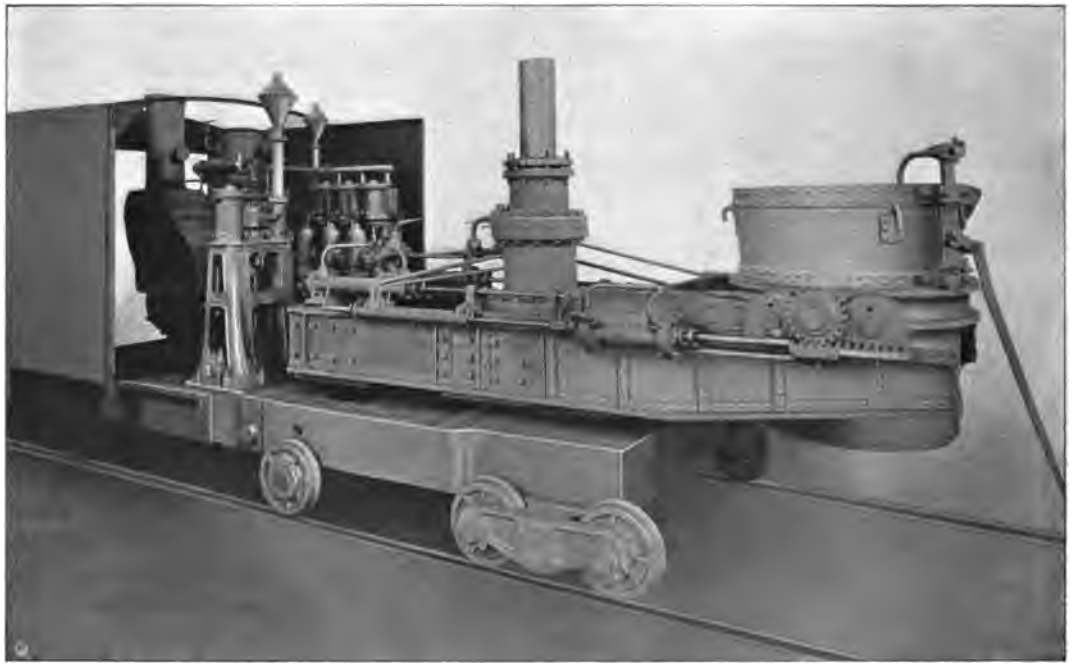


Abbildung 6. Ansicht des dampfhydraulischen Gießwagens Abbildung 5.

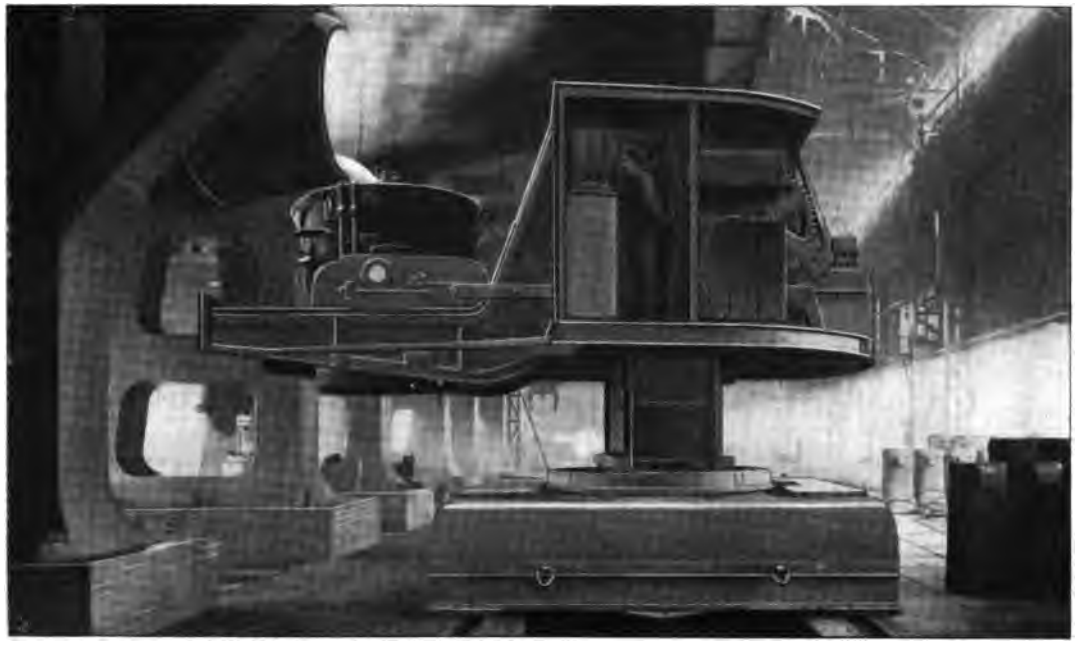


Abbildung 7. Ansicht eines Gießwagens mit elektrischem Antrieb. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

noch nirgend fehlgegangen, wo sich die elektrische Energieübertragung dem Betriebe auch richtig anpassen ließ. Dagegen bringt die noch fast allgemein übliche Anordnung der Gießhalle in der Verlängerung der Konverterhalle Schwierigkeiten viel ernsterer Art. Für die günstigste Anlage von Transporteinrichtungen, welche mit bester Ausnutzung jeder einzelnen einander ungestört in die Hände arbeiten sollen, um die mit ihnen beabsichtigte Produktionserhöhung zu erreichen, muß offenbar die Forderung aufgestellt werden, daß der Materialdurchgang an keiner Stelle mit der Erweiterungsrichtung der betreffenden Anlage zusammenfallen darf, wenn nicht hierdurch allein schon eine Produktionserhöhung über ein gewisses Maß hinaus unmöglich werden soll.

Die gleichachsige Anordnung der Gießgruben neben dem Konverterhaus, welche den Gießwagen veranlaßt, unter der Bedienungsbühne auf einem einzigen Gleise zur Gießhalle zu fahren, wie die Abbildungen 7 u. 8 erkennen lassen, verstößt nun direkt gegen diesen Grundsatz. Solange nur in zwei Birnen abwechselnd geblasen wird, tritt eine Klemmung des Materials noch nicht auf; wenn aber ein sehr flotter Thomasbetrieb mit mehr als zwei Birnen gleichzeitig arbeitet, staut sich wegen der kurzen Chargenzeiten der Birnen erfahrungsgemäß der Fahrbetrieb mit mehreren Wagen, welche das Material auf nur einem Gleise und nach nur einer Seite abziehen können und mit Abholen und Vergießen gleichzeitig belastet sind. Man sucht sich dann wohl mit einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf 120—150 m per Minute zu helfen, gerät dabei aber in neue Schwierigkeiten; zunächst hat ein im Stahlwerk auf Flur laufender Wagen niemals mit einer so ebenen Fahrbahn zu rechnen wie ein Laufkran, und Stöße durch Unebenheiten auf den Gleisen müssen bei den großen Massen des Wagens einen besonders schweren Charakter annehmen. Dann aber kann es unter Umständen sogar ein Fehler sein, hohe Fahrgeschwindigkeiten

Abbildung 8. Gießhalle eines Stahlwerks mit Stripperkranen. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

bei an sich kurzen Fahrwegen zu verlangen, wenn man bedenkt, daß für große Massen bei 150 m Höchstgeschwindigkeit sich allein 15—20 m Beschleunigungsweg und 8—10 m Bremsweg ergeben, wenn zu hartes Fahren mit heftigen Erschütterungen der empfindlichen Motore vermieden werden soll.

An diesen grundsätzlichen Schwierigkeiten können auch Ausweichbühnen oder endlich der Ersatz des Gießwagens durch den Kran nichts ändern, welcher sich vielleicht aufdrängt aus der Überlegung heraus, daß auf erhöhter, geschützter Bahn fahrende Krane höhere Fahrgeschwindigkeiten erreichen könnten und eine allgemeinere Beherrschung der ganzen Gießhalle gewähren als ein an sein Gleis gebundener Wagen. Rein konstruktiv ließ sich ja der Kran ohne Schwierigkeiten den speziellen Bedürfnissen im Thomaswerk anpassen (Abbildung 9 u. 10); Verschalungen schützen Haken und Seil gegen die strahlende Hitze des Pfanneninhalts, starre Führung der Pfannenaufhängung verhindert bei den kurzen Bewegungen über den einzelnen Kokilleneingüssen das Ausschwingen der Pfanne, Verriegelung der Hakentraverse entlastet die Seile während des Vergießens oder während des Fahrens in gleichbleibender Höhenlage der Pfanne, ein eventuell getrennt fahrbarer Führerstand überläßt dem Kranfahrer die Wahl günstiger Beobachtungsstellung selbst.

Ein solcher Kran wäre an sich ohne weiteres denkbar als Ersatz des Gießwagens, wenn er es nur mit dem Vergießen auf Kokillen zu tun hätte und dieses unmittelbar vor den Birnen stattfinden könnte, obwohl auch dabei schon das starre Führungsgerüst anderen, tieferlaufenden Kranen sehr hinderlich wäre. Aber daneben würden sich noch andere konstruktive Unbequemlichkeiten ergeben; entweder müßte die Bedienungsbühne vor den Konvertoren, auf welche man kaum verzichten wird,

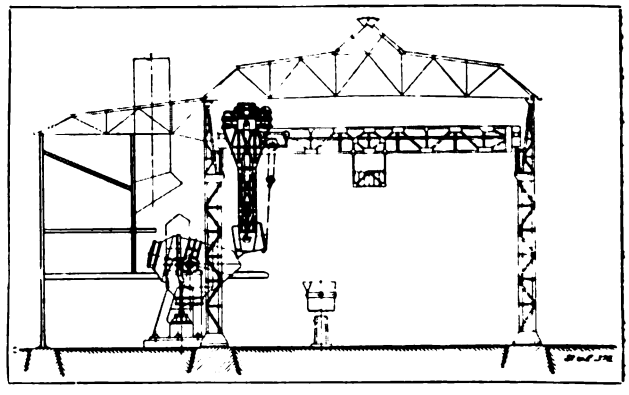


Abbildung 9. Gießkran ohne Ausleger.

mit einer besonderen Vorrichtung zum Aufklappen versehen werden, und damit entstünde offenbar für den flotten Thomasbetrieb eine unbequeme Zugabe an bewegten Teilen, selbst wenn diese Klappen und ihr Antrieb völlig betriebssicher durchgebildet würden. Oder aber es würde mit Umgehung einer Klappbühne der Gießkran gewissermaßen zum „hängenden Gießwagen" ausgebildet; der Ausleger mit gefüllter Pfanne wäre dabei zusammen mit Gegengewicht und Führungssäule eine ganz außerordentliche Belastung für den Kran, und hohe Fahrgeschwindigkeiten mit kurzem Anfahren und Bremsen müßten für die Konstruktion ebenso bedenklich sein wie für die Sicherheit des Fahrens beim Vergießen auf Kokillen.

Abbildung 10. Ansicht von Gießkranen. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Eine solche Krananordnung in der Birnenhalle selbst bringt aber auch neue Schwierigkeiten bezüglich der Organisation der übrigen Transportaufgaben vor den Birnen; die Bühnen werden entweder zu schmal oder wegen der Klappenanlage zu unsicher für den Wagentransport zwischen Mischer und Konvertoren. Damit entsteht für den Kran die neue Aufgabe, eventuell auch das Chargieren der Birnen zu übernehmen; wenn mit ihm also das Vergießen allein auch im Gruppenbetrieb vor diesen durchführbar wäre, so kommt doch neu hinzu ein Längstransport von und zu den Mischern, welcher immer den Keim zu einer Begrenzung der Durchgangsfähigkeit auf dem einen Fahrgleise enthält.

Ganz unmöglich erscheint aber der Ersatz des Gießwagens durch einen solchen Kran in der Birnenhalle, wenn dieser Ersatz unter denselben örtlichen Verhältnissen erfolgen sollte bezüglich der gegenseitigen Lage von Birnen und Gießhalle, in

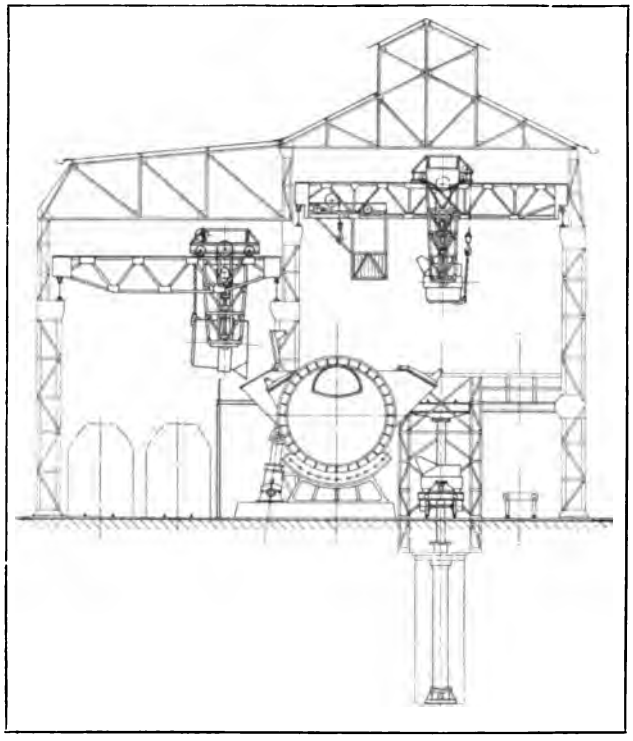


Abbildung 11. Neue Disposition für Mischerhaus.

welchen schon der Wagenbetrieb sich als unzureichend erwiesen hat. Der Vermehrung der Arbeitsfunktionen für den Kran stünde noch die Unmöglichkeit gegenüber, durch Ausweichbühnen Erleichterung zu bringen, es wäre also durch den Kran — immer die erwähnte hohe Zahl der im Betrieb befindlichen Birnen vorausgesetzt — nichts gewonnen, sondern die Situation eher noch erschwert.

Der Fehler dieser Disposition liegt eben darin, daß trotz der kurzen Chargenzeiten von Konvertoren, und trotzdem Chargieren und Entleeren auf gleicher Seite derselben vor sich gehen müssen, das fertige Material nicht auf derselben Höhe der Anlage vergossen wird, wo es erblasen wurde, sondern daß es dazu erst noch in der Aufstellungsrichtung der Birnen weggefahren werden muß. Grundsätzliche Besserung wird wohl nur mit einer geänderten örtlichen Disposition möglich, welche eine beliebige Vergrößerung des Betriebes gestattet, ohne in sich selbst schon eine Begrenzung der Leistungsfähigkeit bei irgendeiner Höhe derselben zu enthalten. Eine solche Anordnung nach Abbildung 11 u. 12* vertritt folgende Grundsätze:

1. Materialdurchgang senkrecht zur Erweiterungsrichtung jeder Einzelanlage; 2. Gießhalle parallel zur Birnenhalle; 3. Verteilen des Birnenfüllens, Entleerens und Kokillenvergießens auf getrennte Organe, welche somit bestimmte Gruppen nebeneinanderliegender Birnen und Gießgruben zu bedienen und sich doch gegenseitig bei Betriebsstörung zu unterstützen vermögen.

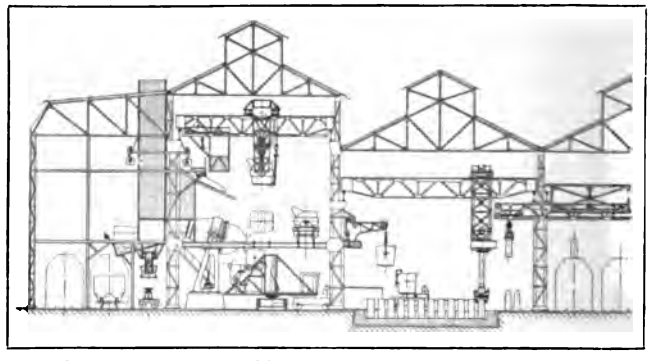


Abbildung 12. Neue Disposition für Konvertorhaus.

Ein Pfannenkran holt, allerdings noch mit Längstransport, von den Roheisenmischern das flüssige Material ab; da sein eigentlicher Zweck nur Fahren auf größere Entfernung ist, er dagegen mit kurzen Bewegungen wie beim Kokillenvergießen nichts zu tun hat, genügt für ihn eine verkürzte Führung. Die Birnenbühne ist dabei breit genug, um sowohl jede gewünschte Zugänglichkeit zu gewähr-

* Eigene Entwürfe. Nachdruck verboten.

leisten, als auch einen Reservebetrieb von Roheisenpfannenwagen zu ermöglichen. Die Anordnung zweier Fahrbetriebe in Kran und Wagen übereinander läßt hier auch bei großer Produktion Klemmungen vermeiden, welche sonst logisch bei der Anordnung dieses Materialdurchgangs in Richtung der Birnenaufstellung entstehen müßten. Kran und Wagen in beliebiger Betriebsverteilung übergeben also das flüssige Material den Birnen, Pfannenwagen übernehmen das fertig erblasene Flußeisen, vergießen es aber nicht selbst in Kokillen, sondern übergeben es etwa für diesen Zweck einfachen und billigen Gießwagen, von denen sie einzeln eine ganze Gruppe nebeneinander zu bedienen vermögen. Wird endlich besonderer Wert darauf gelegt, jedwedes Gleis vor den Birnen zu vermeiden, welches immerhin durch Betriebsunfälle ungangbar werden könnte, so würden vielleicht an die Stelle der großen Pfannenwagen mehrere stationäre hydraulische Schwenkkrane treten dürfen, denen eine besonders hohe Unempfindlichkeit gegen schlechte Behandlung gerade an dieser Stelle sehr zugute kommen würde.

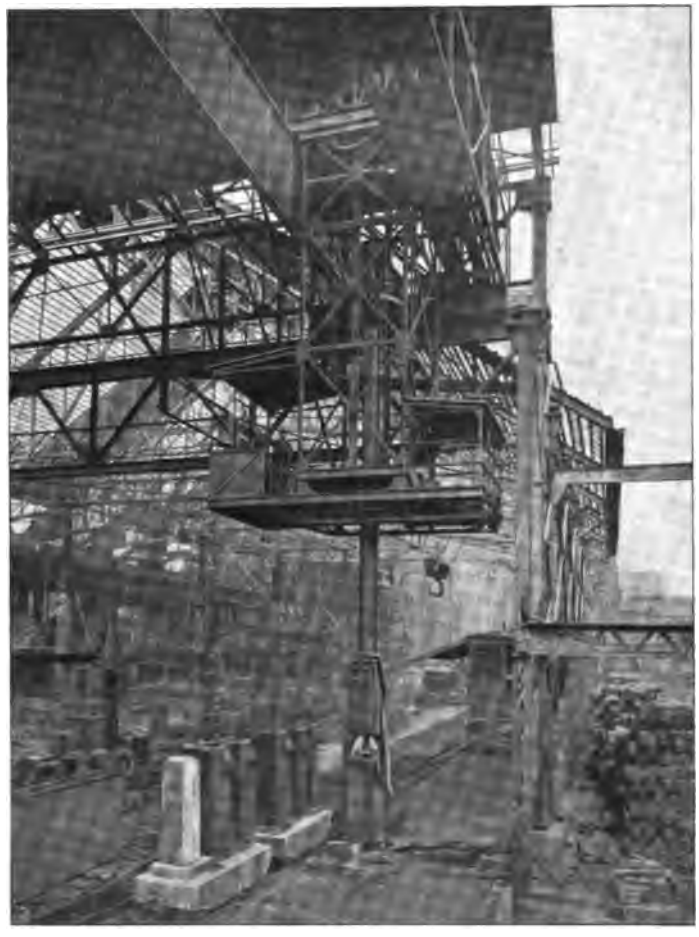


Abbildung 13. Blick ins Stahlwerk.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Für solchen Quertransport des Materials ist es charakteristisch, daß sich zugleich neben dem Gruppenbetrieb der transporttechnische Erfolg erreichen läßt, kleinste tote Massen beim Vergießen zu bewegen; wenn über der Gießhalle weiterhin auf den oben laufenden Kran mit starrer Führung gänzlich verzichtet ist, so geschieht es auf die Überlegung hin, daß sein Führungsgerüst die Aktionsfreiheit anderer Krane beeinflussen würde, welche über der gleichen Stelle noch erforderlich werden und die weitere sehr wichtige Aufgabe lösen müssen, die gegossenen Blöcke nach genügender Erstarrung aus ihren Formen auszudrücken.

Dazu sind besondere Blockabstreifer ausgebildet (Abbildung 13), denen die Aufgabe zufällt, die Kokille von dem gegossenen Block abzustreifen, sie beiseitezusetzen und den Block einer weiteren Transportvorrichtung zu überlassen, welche ihn der eigentlichen Weiterverarbeitung zuführt. Man wird heute in angestrengten Betrieben selbst dann die Kokille von einem Abstreifer anheben lassen, wenn ein me-

chanisches Ausdrücken des Blockes nicht immer nötig ist, sondern für gewöhnlich der Block beim Anheben der Kokille sofort von selbst frei wird. Einerseits ist damit der flotte Materialdurchgang auch an dieser Stelle auf alle Fälle gesichert, anderseits verbietet sich das „Stürzen" der Kokillen, sobald man sich Rechenschaft ablegt über das Kapital, welches in einem Kokillenpark steckt, und über die Höhe der Ersatzkosten an Kokillen bei mechanischem Abstreifen und ohne dieses.

Mehr noch von den gegebenen Verhältnissen abhängig ist der Ort, an welchem die Kokillen abgestreift werden sollen, obwohl für Neuanlagen auch hier eine allgemein günstige Disposition möglich ist, wie später noch gezeigt werden soll. Der feste und der teilweise bewegliche Abstreifer machen Wagenzüge zwischen Gießgrube und Abstreifer für Kokillen oder Blöcke oder auch beide nötig; der über der ganzen Gießhalle freibewegliche hingegen hat den Vorzug der Krananordnung, an keinen Platz gebunden zu sein und also eventuell die Blöcke selbst aus der Gießgrube abholen zu können.

Mit der Entscheidung über die Art des Blockabstreifens ist in einem Sinne auch über das Betriebsmittel entschieden; so findet z. B. der feste Abstreifer noch mit Preßwasserbetrieb zweckmäßige Ausführung nach Abbildung 14. Der Block wird von dem abgesperrten mittleren Kolben untengehalten, die Kokille dagegen von den beiden äußeren hochgezogen und dafür nach Bedarf der Wasserdruck durch eine direkt wirkende Preßpumpe festgelegt. Für den völlig freibeweglichen Abstreifer bleibt naturgemäß nur der elektrische Einzelantrieb, und die Grundform der Einrichtung wird wieder, wie die Abbildung 15 erkennen läßt, der elektrische Laufkran. Zum Öffnen und Schließen der Zangenschenkel wird dabei eine Gegenbewegung zwischen der Aufhängung der Schenkel und ihrem Steuerorgan nötig; die sichere und rasche Zangensteuerung, die Vermeidung von schädlichen Massenwirkungen, die zuverlässige Klemmung der erfaßten Last beim Aussetzen des Stromes sind konstruktive Aufgaben besonderer Art geworden, und sie haben zu außerordentlich sinnreichen Lösungen geführt.

Alle diese Transportmittel entziehen sich flüchtiger Beobachtung mehr oder weniger; wenn man jedoch überlegt, daß das Versagen eines einzigen von ihnen den Betrieb im Thomaswerk sofort empfindlich zu stören vermag, daß eine ungünstige Disposition der einzelnen Transportelemente gegeneinander sogar die Erweiterungsfähigkeit der ganzen Anlage zu unterbinden imstande ist, dann wird die Bedeutung dieser Hilfsmittel des Hüttenbetriebes wohl auch dem Nichtspezialisten klar.

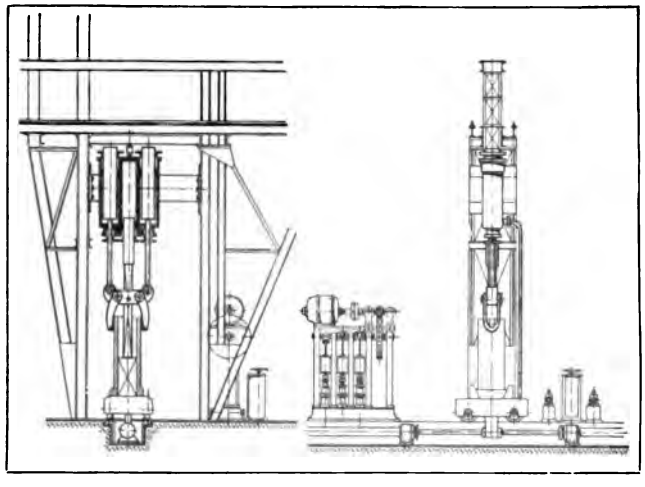


Abbildung 14. Hydraulischer Abstreiferkran.

* * *

Ganz ähnlich sind im Martinwerk die Transportaufgaben zu lösen, welche sich zwischen Rohmaterial und abgestreiftem Block ergeben; charakteristisch ist dabei nur, daß die Chargendauer eines

Ofens mehrere Stunden beträgt, also eine erheblich höhere ist als bei der Birne, und daß infolgedessen die Schwierigkeiten eine viel geringere Rolle spielen, welche sich bezüglich ungehinderten Verkehrs zwischen Öfen und Gießgrube ergeben können. Der Übergang vom Wagen zum Kran, welcher dieselben Bauarten wie früher bringt, ist hier ohne weiteres möglich, und zwar kann ein solcher Kran für eine Gruppe von nebeneinanderliegenden Öfen das Füllen der Pfanne zugleich mit dem Vergießen übernehmen, eventuell sogar noch das Chargieren der Öfen mit flüssigem Material; denn im Martinwerk ist die örtliche Disposition meist so gewählt, daß die Gießgruben unmittelbar vor den Öfen liegen, nicht daneben in deren Aufstellungsrichtung. Die Einteilung in Gruppenbetriebe bei einem zur Aufstellungsrichtung senkrechten Durchgang des Materials ergibt sich im Martinwerk also von selbst.

Abbildung 15. Stripperzange mit Stempelsteuerung. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Auch auf der Beschickungsseite der Öfen, welche der Abstichseite gegenüberliegt, ist der Weg zum Kran als Beschickungsvorrichtung bald gegangen worden, und auch hier ist gruppenweise Einteilung von Beschickungskranen mit gegenseitiger Reserve für die Disposition charakteristisch geworden. Die Aufgabe besteht hier darin, das Rohmaterial in Form von Schrott aller Art und Größe in geeigneten Mulden in die Öfen einzuführen und die Mulden im Ofeninnern zu entleeren. Dafür wurde früher eine hydraulische Vorrichtung benutzt; sie hatte die Mulden von Muldenwagen abzunehmen, welche ihrerseits wie die Beschickungsvorrichtung selbst vor den Öfen verfahren werden konnten. Für eine solche Wagenkonstruktion schließt sich die selbständige Preßwassererzeugung aus, und die Wasserzuführung von außen bringt die im Kranbau bekannten Schwierigkeiten für die auf Flur fahrende Konstruktion in erhöhtem Maße; der elektrische Betrieb kommt somit allein in Frage, wenn die Produktionshöhe der Anlage maschinelle Beschickung überhaupt bezahlt macht. Die ersten elektrischen Beschickungsvorrichtungen behielten zunächst die Wagenform bei, und auch die Bewegungsarten der Mulde bzw. ihres Auslegers (Abbildung 16 u. 17). Vom ruhenden Wagen aus wird der Ausleger gehoben und gesenkt, um die Mulde in jeder Lage aufnehmen und ab-

Abbildung 16. Ansicht einer elektrisch betriebenen Muldenchargiermaschine (für Siemens-Martinöfen). Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

setzen zu können; er wird ferner vorgeschoben, eventuell mit gleichzeitigem Anheben, um im Ofen sperrigem Schrott auszuweichen, und er wird endlich im Ofen gedreht, um die Mulde zu entleeren.

Der Weg zum Kran mußte nun hier aus verschiedenen Gründen gegangen werden. Zunächst ist gerade im Martinwerk die Ofenflur schwer freizuhalten und ein Wagen schon bei mäßigen Fahrgeschwindigkeiten heftigen Erschütterungen ausgesetzt, welche auf Zapfen und Lagerungen den ungünstigsten Einfluß haben müssen. Der Hauptnachteil der Wagenkonstruktion besteht aber darin, daß sie die Mulden nur vorn aufnehmen und absetzen läßt; das macht mehrere Muldenwagen auf Ofenflur nötig, und wenn ein solcher Muldenwagen auch nur drei Mulden trägt, so sind doch etwa sechs Mann nötig, um ihn vom Schrottplatz zur Ofentür zu schieben. All dies deutet auf eine Krankonstruktion mit schwenkbarem Ausleger hin, welcher die Mulden entweder von einer Wagenreihe oder einer Bank an der freien Wand der Ofenhalle aufnehmen und absetzen läßt und damit eine weitgehende Entlastung des Hüttenflurs bedeutet. Die Abbildung 18 zeigt derartige Muldenbeschickkrane; da die örtlichen Verhältnisse und der Betrieb für die Ausbildung einer solch durchlaufenden Kranbahn keine Schwierigkeiten bringen, so scheint diese Grundform für die Beschickung im Martinwerk wohl eine definitive zu sein. Die Schwenkbarkeit des Auflagers bringt hier noch für die Mulde im Ofen die Möglichkeit kurzer seitlicher Bewegungen mit sich, und eine Hubbewegung des ganzen Auslegers neben der Wippbewegung um einen horizontalen Zapfen ergibt allgemeine Anpassungsfähigkeit an die baulichen Verhältnisse der Ofentüren.

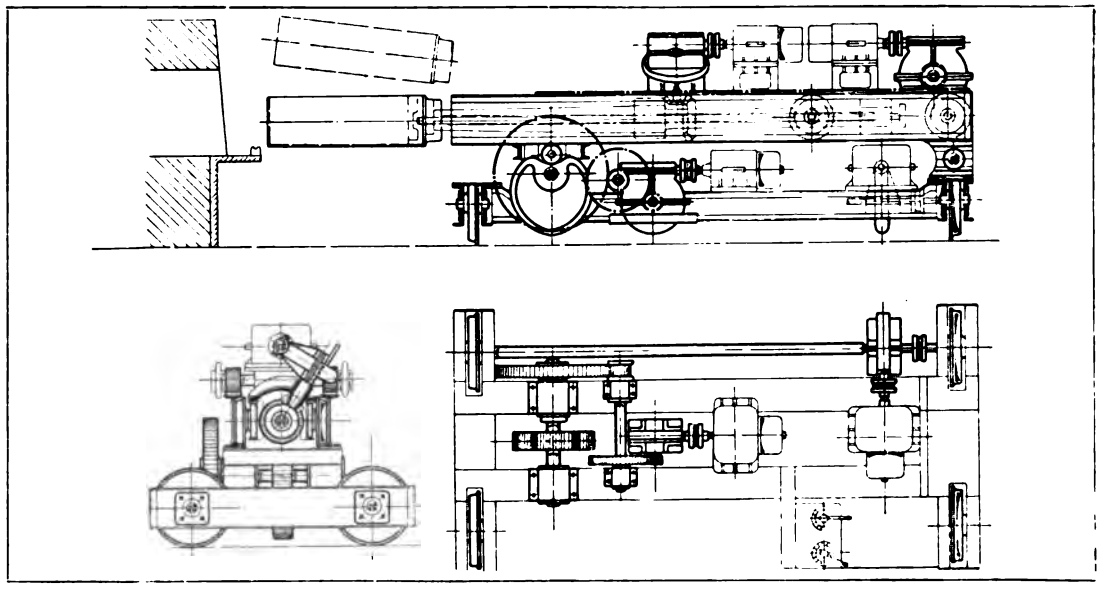


Abbildung 17. Elektrisch betriebene Muldenchargiermaschine.

Abbildung 18. Elektrisch betriebener Muldenchargierkran.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Es läge hier vielleicht nahe, die charakteristische Art des Materialdurchganges quer zur Erweiterungsrichtung der Anlage auch auf die Zuführung der Mulden zur Ofenhalle auszudehnen; bei einer solchen Anordnung werden die leeren Mulden auf dem Schrottplatz von Hand oder Magnet gefüllt, auf Muldenwagen zum Querkran geschoben und von diesem auf die Ofenbühne gestellt, wo sie von den einzelnen Beschickkranen nach Bedarf abgeholt werden können. Man zwingt aber dabei den Chargierkran, auf eventuell große Entfernungen den Weitertransport zum Ofen selbst zu übernehmen, und das wird wohl zweckmäßiger vermieden, wenn der Muldentransportkran selbst die ganze Ofenhalle in der Längsrichtung bestreichen kann.

Noch universeller scheint hier die Hängebahn zu werden, welche in beliebiger örtlicher Disposition den Verkehr zwischen Schrottplatz und Ofenhalle übernehmen kann und die einzelnen Mulden ihrem Inhalt nach vor eben jenem Ofen abzusetzen vermag, für welchen sie bestimmt sind. Die größte Vereinfachung des Betriebes verspricht da-

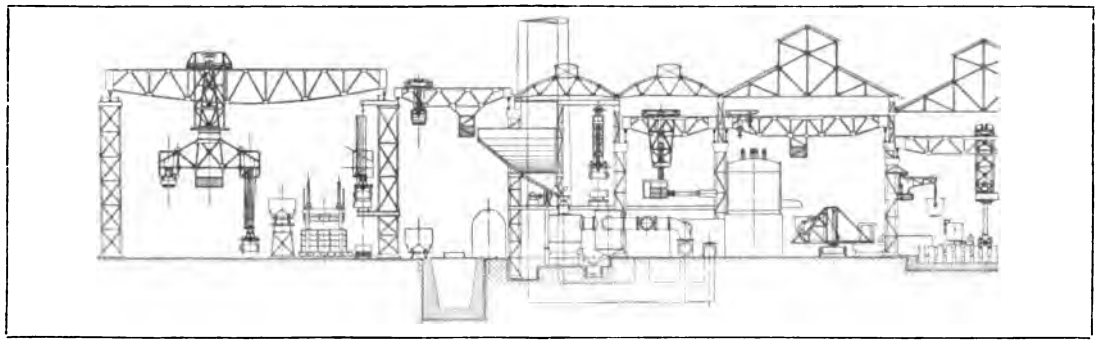


Abbildung 19. Neue Gesamtdisposition eines Martinwerkes.

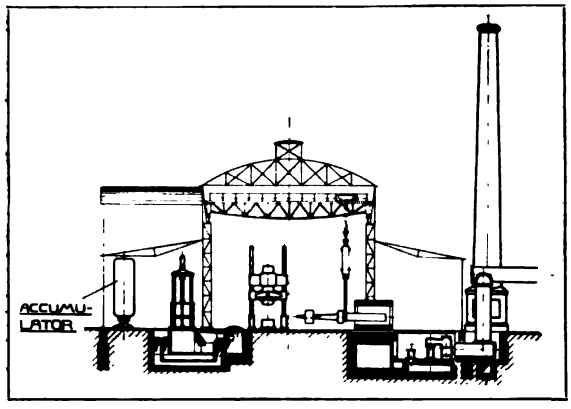


Abbildung 20. Preßwerk.

neben die Anwendung von Hubmagneten, sofern das verarbeitete Material von solchen auch sicher gefaßt werden kann.

Abbildung 19* zeigt eine derartige Anordnung, in welcher durch das richtige Zusammenarbeiten zwischen Hubmagnet und Hängebahn nicht nur der Betrieb im Muldentransport selbst zu einer universellen Lösung gelangt ist, sondern welche auch durch die Anordnung der Generatoren unmittelbar vor den Öfen den Grundsatz durchgeführt hat, mit Vermeidung von langen Gaskanälen das Gas dort zu erzeugen, wo es verbraucht wird.

3. DIE EINRICHTUNGEN DER HAMMERWERKE

In den Stahlwerken sind es also, abgesehen von den metallurgischen Aufgaben, Transportfragen und ihre verschiedenen Lösungen, welche den heutigen Anlagen ein charakteristisches Gepräge verleihen; im Hammerwerk dagegen sind bestimmend für die einzelnen Einrichtungen die Forderungen, auch für größte Schmiedestücke energische Durcharbeitung des Materials zu erreichen und in den Öfen sowohl als auch im maschinentechnischen Teil auf günstigste Energie- und Wärmewirtschaft zu achten. Transportfragen spielen wegen des wenig einheitlichen Arbeitsprogramms eines Hammerwerkes nur eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle.

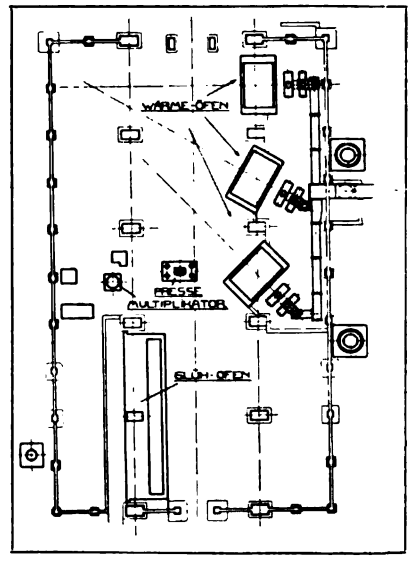


Abbildung 21. Grundriß zum Preßwerk.

Das Arbeitsprogramm eines Großhammer- und Preßwerkes ist, abgesehen von Spezialfabrikationen, in der Hauptsache bedingt durch den Bedarf des Maschinenbaues, des Schiffbaues und des Eisenhochbaues an Schmiedestücken jeglicher Art und Größe, und das zur Verwendung kommende Material paßt sich in allen Qualitätsstufen, vom Flußeisen bis zum hochwertigen Stahl, dem jeweiligen Verwendungszwecke an. Für die Einzeleinrichtungen solcher Anlagen ist es maßgebend, daß Schmiedestücke der verschiedensten Dimensionen hergestellt werden müssen, und weiterhin, daß ein großer, kalt ankommender Rohblock nicht in einer einzigen Hitze in die Fertigform zu bringen ist, sondern in verschiedenen Bearbeitungsstufen, zwischen welchen er jeweils aufs neue erwärmt werden muß. Die Abbild. 20 u. 21 zeigen dementsprechend neben der Bearbeitungsmaschine, Hammer oder Presse, mehrere Wärmöfen, deren Aufstellung große Längen der Schmiedestücke zuläßt, ohne kostspielige Platzvergeudung, und endlich eine Glühofenanlage, deren Aufgabe es ist, aus dem fertigen

* Eigener Entwurf. Nachdruck verboten.

Schmiedestück die inneren Materialspannungen zu beseitigen, welche während der Formgebung entstanden sind. Steigende Rücksicht auf günstige Energie bzw. Wärmewirtschaft sowie auf gründliche Durcharbeitung des Materials kennzeichnen den Entwicklungsgang der Öfen und Bearbeitungsmaschinen zu ihren heutigen Formen.

* * *

Für die Öfen liegen die Aufgaben, welche sich hieraus ergeben, recht einfach. Kann der Ofen bezüglich der Brennstoffausnutzung nicht mehr als Vorstufe einer nachfolgenden Dampfkesselanlage aufgefaßt werden, so ist die Flamme möglichst im Ofen selbst zu erzeugen, die erzeugte Wärme möglichst in ihm allein unterzu-

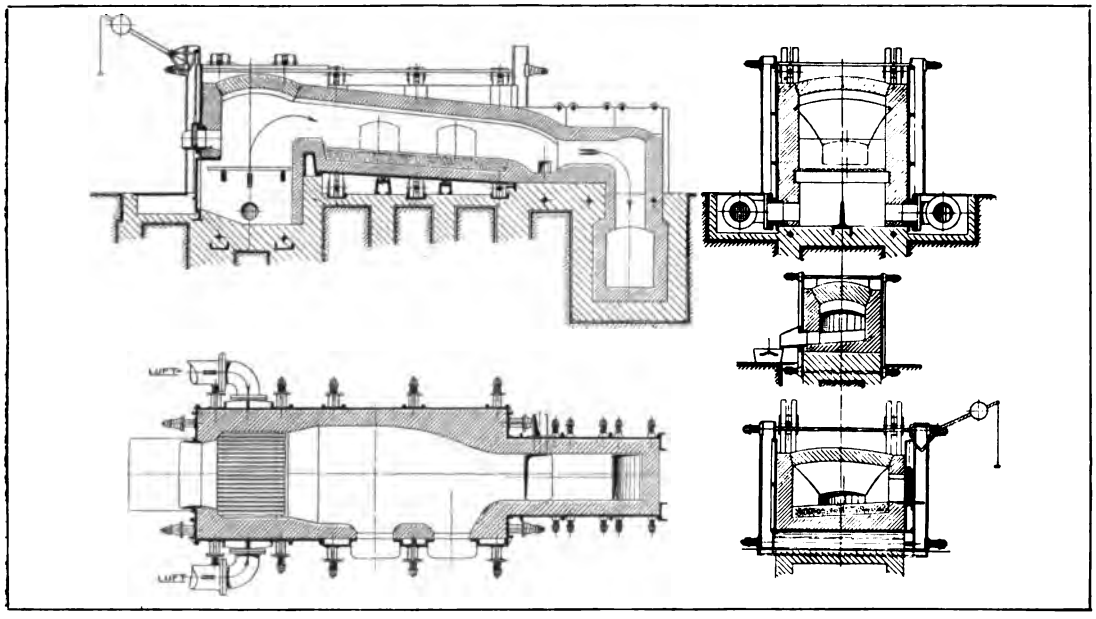


Abbildung 22. Schweißofen mit direkter Feuerung.

bringen und die Temperatur der Abgase so weit herunterzuziehen, als es, alles in allem, noch von wirtschaftlichem Vorteil ist. Soll der Feuerungsbetrieb mit geringsten Brennstoffkosten durchgeführt werden, so ist in Anlehnung an die bekannten Formen der Kesselfeuerungen Verwertung billiger Brennstoffe bei selbsttätiger Beschickung anzustreben, völlige Verbrennung der Feuergase bei geringstem Luftüberschuß zu sichern und der Strahlungsverlust des Ofens nach Möglichkeit gering zu halten. Sollen endlich zeitraubende und kostspielige Reparaturen eingeschränkt werden, so ist größte bauliche Einfachheit und beste Zugänglichkeit der wesentlichen Ofenteile zu verlangen; die Wärmeökonomie darf keinesfalls einseitig auf Kosten der Betriebssicherheit erkauft werden.

Diesen Grundsätzen vermag der Ofen mit direkter Feuerung (Abbildung 22), wie er z. B. für den Schweißofen gezeigt ist, nicht völlig zu entsprechen. Die direkte Feuerung von Hand ergibt wohl bei einfachster Bauart billige Ofenform, hat jedoch auch hier naturgemäß die Nachteile, wie sie der periodischen Beschickung eines offenen Feuers sonst eigentümlich sind; die bei offener Feuertür einstürzende kalte Luft

begünstigt starke Rauchentwicklung mit unvollkommener Verbrennung, die periodisch hohe Gasentwicklung der Schüttung verlangt reichlichen Luftüberschuß; hohe Herdtemperatur ist nur mit bester Kohle zu erreichen und bedingt damit den empfindlichsten Nachteil der ganzen Bauart, denn die Abgase treten notwendigerweise mit hohen Temperaturen in den Fuchs über, und ihre Wärme ist für den eigentlichen Ofenzweck verloren. Da im Einsatz des Ofens sich erfahrungsgemäß nicht über 20% der Kohlenwärme binden lassen, kann eine solche Feuerung nur dort in Betracht kommen, wo in der Nähe des Ofens noch großer Dampfverbrauch für Hämmer und Pressen zu decken ist; wird durch Verbesserung dieser Bearbeitungsmaschinen jedoch Dampf nicht mehr im entsprechenden Umfange benötigt, so hat eine verbesserte Feuerung notwendigerweise einen Teil der Abwärme der Ofenabgase dem Ofen selbst wieder zuzuführen und daneben hohe Herdtemperatur aus billiger Kohle anzustreben.

Auch die Halbgasfeuerung, wie sie beispielsweise der Schweißofen Abbildung 23 enthält, erreicht dieses Ziel noch nicht völlig; wohl ermöglicht die erhöhte Brennstoffschicht eine Verwendung billigerer Brennstoffe neben selbsttätiger Beschickung, wohl läßt die Vorwärmung von Oberwind die gewünschten hohen Herdtemperaturen eher erreichen als vorher, aber nicht energisch genug angestrebte Mischung zwischen Feuergasen und Oberwind ist der völligen Verbrennung hinderlich, und die Oberluft wird in der Hauptsache nur durch Strahlung und Leitung der heißen Ofenwände erwärmt, während die Abgase selbst wieder mit fast der ganzen Wärme abziehen, welche sie an der letzten Beschickungstür noch haben müssen. Auch hier hängt also die Wirtschaftlichkeit des Betriebes davon ab, ob hintergeschaltete Dampfkessel die weitere Verwertung der Ofengase übernehmen können oder nicht. Weitere Verbesserungsmöglichkeiten kann nur der reine Gasbetrieb ergeben, welcher bei zentralisierter Gaserzeugung den Ofenbetrieb freihält von Brennstofftransport und Feuerungsbedie-

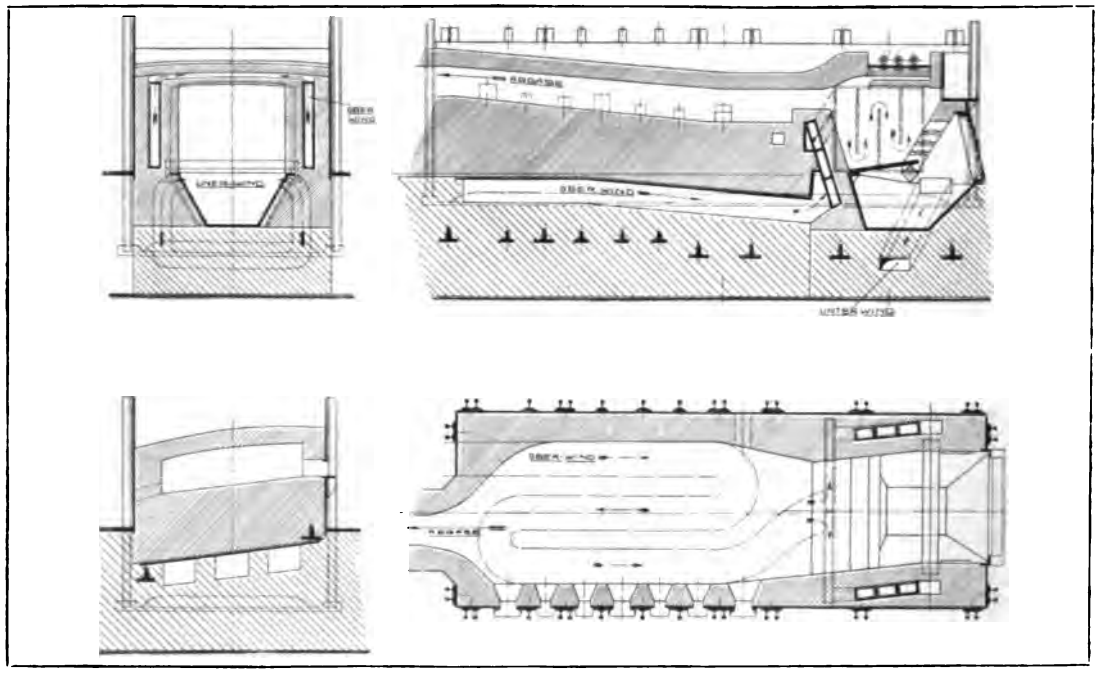


Abbildung 23. Schweißofen mit Halbgasfeuerung.

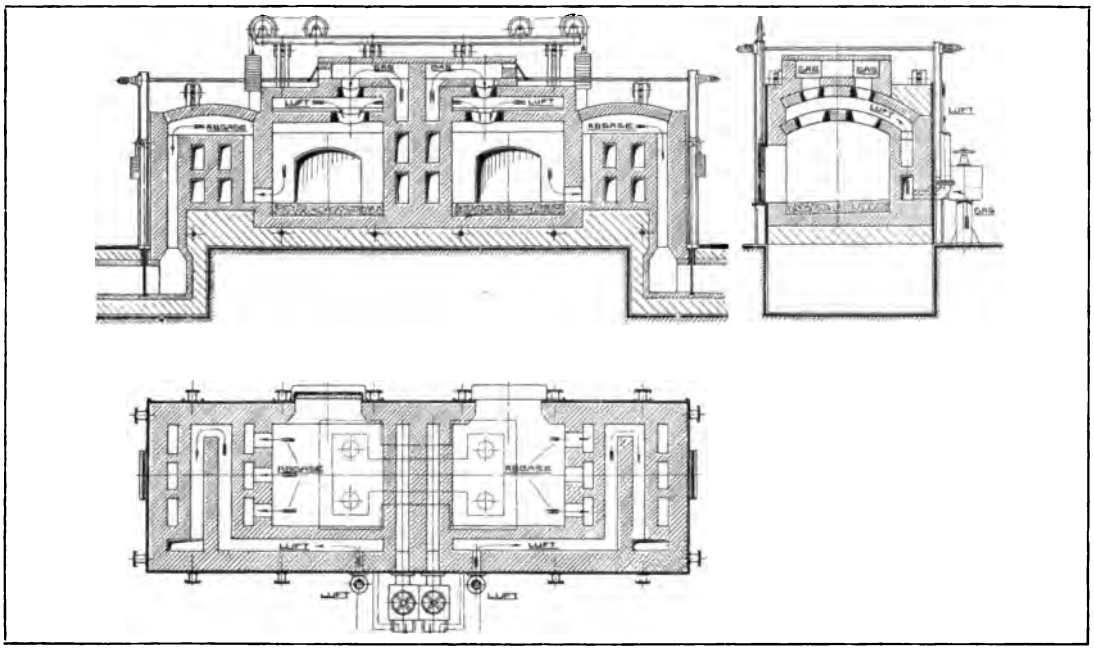


Abbildung 24. Blockwärmofen. (Weardale-Gasfeuerung.)

nung und bei geeigneten örtlichen Verhältnissen auch überschüssige Hüttengase zur Verwendung gelangen lassen kann.

In der Anordnung nach Abbildung 24 durchstreicht zum Beispiel die zur Verbrennung gelangende Luft einen Vorwärmer, in welchem gleichzeitig die Abgase ihre Wärme so weit abgeben, als es der Oberfläche dieses sogenannten Rekuperatorsystems entspricht; in Düsen treten die Gase, von Luft rings eingehüllt, in den Ofen ein, und zwar bildet sich dabei die Flamme auf dem Herd und der Beschickung desselben, anstatt an Teilen der Ofenwandung, welche gegen die Stichflammenwirkung empfindlich sein müssen. Hier wird in geeigneten Generatoren auch minderwertiger Brennstoff bei geringsten Bedienungskosten verwertet werden können und im Ofen selbst wegen der innigen Mischung zwischen Gas- und Lufthalter mit relativ bestem Wirkungsgrad zu arbeiten sein.

Tritt endlich für größere Schmiedestücke das Bedürfnis nach noch stärkerer Vorwärmung von Luft und Gas auf, so kann sich auch im Preß- und Hammerwerk die Feuerungsart an den Betrieb der Martinöfen anlehnen, wie die Abbildung 25 und die Gesamtanordnung Abbildung 20 erkennen lassen. Der Rekuperator der vorigen Bauart wird zum eigentlichen Regenerator, welcher im Wechselbetrieb mittels Wärmespeicherung Gas und Luft erhitzen, die Abgase aber auf ein dem günstigsten Gesamtwirkungsgrad entsprechendes Temperaturgefälle abkühlen kann. Ähnlich, wenn auch nicht mit Regeneratorfeuerung, ergibt sich die Konstruktion für Glühöfen zum Ausglühen großer Schmiedestücke (Abbildung 26 u. 27). Auch hier wird es vorteilhaft sein, durch Einführung der Gasfeuerung statt der einzelnen Kohlenfeuer den Ofenbetrieb auf Hüttenflur zu vereinfachen und vor allen Dingen den lästigen Kohlentransport auf Flur überflüssig zu machen.

* * *

Wie es bei den Öfen gelungen ist, unter Wahrung der ursprünglichen Betriebsforderungen die Wirtschaftlichkeit der Anlagen auf eine höhere Stufe zu bringen, hat gleiches Bestreben bei den Hämmern und Pressen sowohl Bauart als Verwendungsbereich bestimmt. Die Entwicklung der Eisenindustrie hat schon frühzeitig dahin geführt, den alten Schwanzhammer durch den Rahmenhammer mit vertikaler Bewegung des Hammerbärs zu ersetzen, und es mußte damals naheliegen, für die

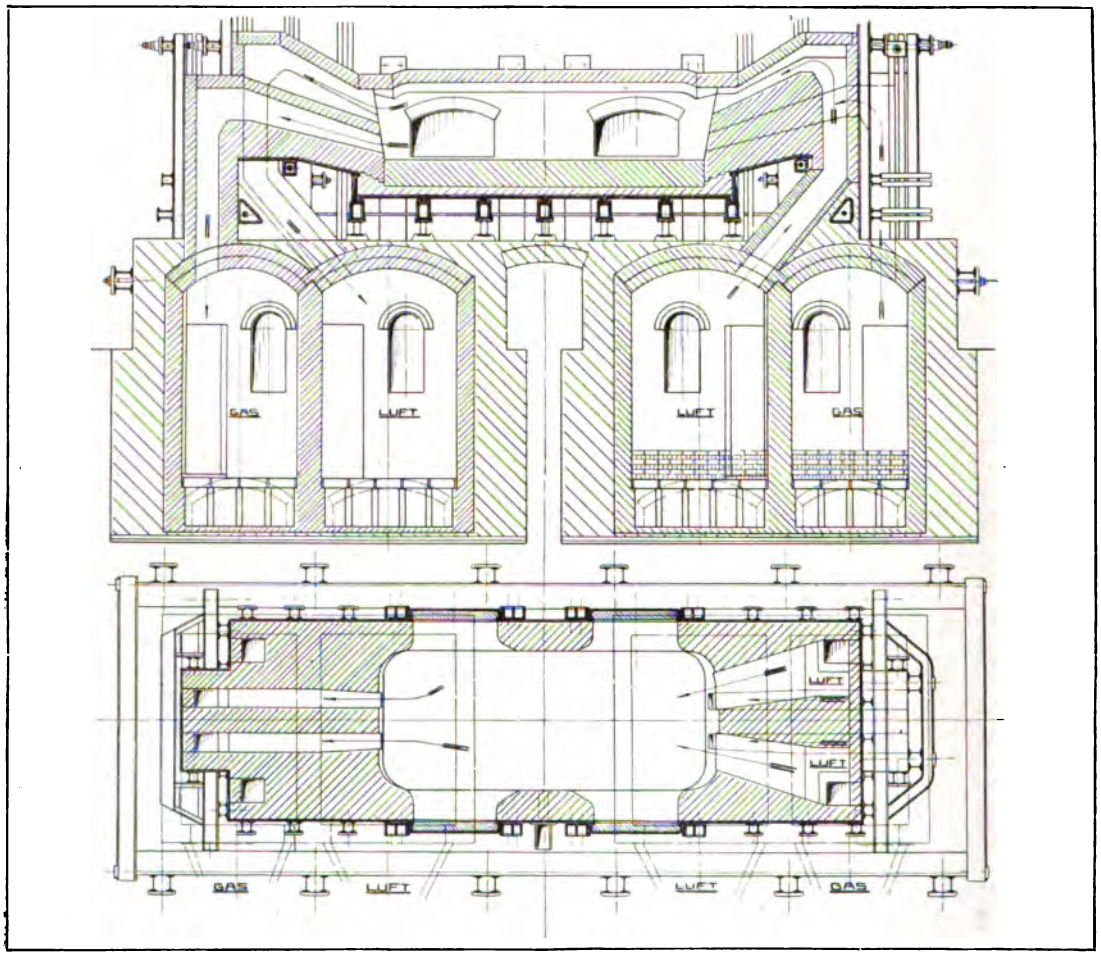


Abbildung 25. Siemens Gaswärmofen (für Brammen).

Bewegung dieses freifallenden Schlagwerkzeuges eine Anlehnung an die Dampfmaschine und seine Steuerung zu suchen. Ein Hilfskolben konnte damit unter Dampfdruck zum Anheben des Bärs und Festhalten desselben in gehobener Stellung benutzt, die Schlagzahl durch die Steuerung bestimmt und die Schlagstärke entweder durch Vergrößerung des Fallgewichts und seiner Endgeschwindigkeit festgelegt werden, sowohl durch Vergrößerung des Hubs allein als auch durch eine zusätzliche Dampfwirkung auch für den Schlag von oben im doppeltwirkenden Dampfzylinder.

Der Arbeitswirkung ist dabei charakteristisch, daß im Aufbau des Hammers kein Kräfteschluß möglich ist, vielmehr hat der Rahmen theoretisch nur die freien

Deckelkräfte aufzunehmen, — Eigenbewegung durch unsichere Fundierung zunächst vernachlässigt, und das Werkstück spielt die Rolle des Vermittlers zwischen zwei freibeweglichen Teilen, dem fallenden Hammer und dem ruhenden Amboß; nur durch Stoßwirkung ist eine Bearbeitung möglich. Hieraus legt sich sowohl die Verwendungsfähigkeit des Hammers überhaupt fest als auch eine Reihe rein konstruktiver Grundsätze.

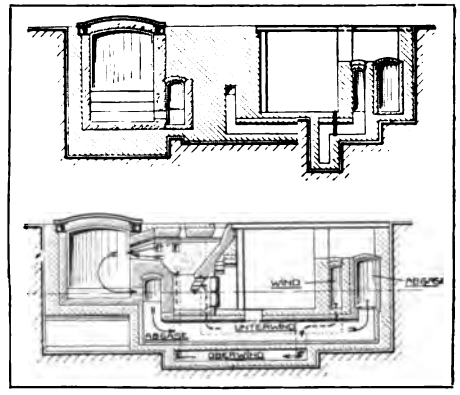


Abbildung 26. Glühofen für große Schmiedestücke.

Bezüglich der Frage, ob der größte Teil des Fallgewichts in den eigentlichen Hammerbär zu legen sei, oder ob auch die Kolbenstange mit entsprechender Verstärkung daran sich beteiligen sollte, war zu überlegen, daß die Stange von einer Stopfbüchse abgedichtet werden mußte, welche so weit wie möglich von Seitendrücken und Klemmungen freizuhalten war, und ferner war zu berücksichtigen, daß ihre Verbindung mit dem Hammerbär durch zu große Massenwirkungen stets nachteilig beeinflußt wird. Für große Hämmer setzten also kleine Massenwirkungen in der Bärverbindung leichte Stangen- und Kolbenkonstruktion voraus, das Hauptgewicht stellte dann der Bär allein, und für ihn mußte beste seitliche Führung notwendig werden, um schiefe Schläge nicht auf das bewegliche System einwirken zu lassen. Die reine Unterdampfwirkung scheint dabei die einfachste und nächstliegende; genügender Zylinderdruck, durch selbsttätige Umsteuerung zu beherrschen, hebt Kolbenstange und Bär einzig und allein an und überläßt dann das freifallende System sich selbst, wobei für die Stangenverbindungen geringe Massenwirkungen erreichbar sind. Die Schlagstärke läßt sich hinreichend beeinflussen durch Drosseln des Abdampfes oder durch Gegendampf. Mit dieser einfachsten Art der Dampfwirkung kann aber der Hammer nur mäßige Hubzahlen erreichen und wird auch von einer gewissen Größe der Ausführung ab zu teuer werden, wo eine bestimmte Erhöhung der Endgeschwindigkeit des Schlages billiger durch Oberdruckwirkung als durch weitere Vergrößerung der Fallhöhe allein erreicht werden kann. Die reine Unterdampfwirkung erscheint somit vorbehalten für große Hämmer, welche schwere Schmiedestücke mit langsamen Schlägen zu bearbeiten haben; hierfür ist meist hohe Schlagzahl nicht nötig und zugleich andererseits, eben wegen der Größe der Ausführung, Oberdampfwirkung ausgeschlossen. Denn die Oberdampfwirkung erlaubt wohl rascheres Anheben des freien Systems wegen des sicheren Abfangens der hochgehenden Massen durch das obere Dampfpolster, und rascheres Niederwerfen durch die vergrößerte Fallbeschleunigung, also größere Schlagzahl, aber sie führt auch zu höherer Endgeschwindigkeit des Schlages. Diese muß naturgemäß die Massenwirkungen

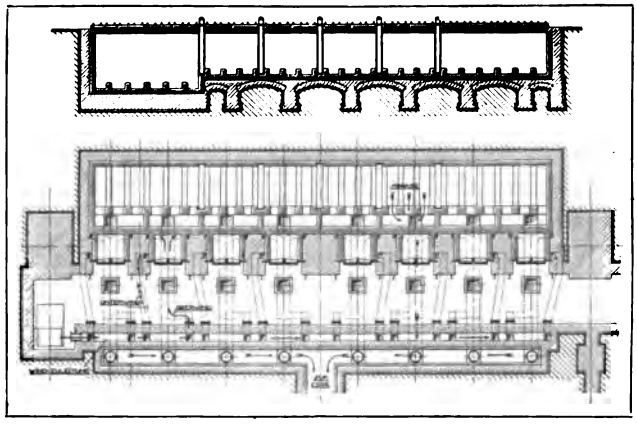


Abbildung 27. Glühofen für große Schmiedestücke.

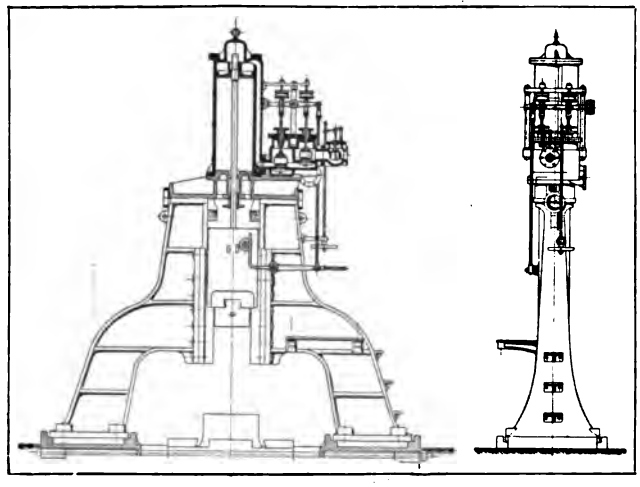


Abbildung 28. Alter Dampfhammer.

in allen Verbindungen des freifallenden Systems vergrößern; die Stange muß mit Durchbiegungen rechnen und die Stopfbüchse seitliche Nachgiebigkeit erhalten, wenn dauernde grobe Undichtigkeiten vermieden werden sollen. Kolben und Stange sind eben der Verbindung mit dem Bär gegenüber gewissermaßen wieder ein Hammersystem im Hammer selbst.

Je kleiner aber die Ausführung, desto mehr können die konstruktiven Schwierigkeiten der Oberdampfwirkung zurück- und die Vorteile des schnelleren Schlages in den Vordergrund treten, d. h. der Schnellhammer, welcher kleine Schmiedestücke rasch zu bearbeiten hat, bevor zu große Abkühlung eingetreten ist, wird immer auf Oberdampfwirkung angewiesen sein.

Zu dieser Festlegung bezüglich der Dampfwirkung, welche in einfachster Weise von dem spezifischen Verwendungszweck diktiert wird, kommen eine Reihe konstruktiver Gesichtspunkte, welche die Ausführungsform des Hammers einerseits auf dem Wege zum Hochhubhammer, andererseits zum Schnellhammer bestimmten. In einer Ausgangskonstruktion (Abbildung 28) hindert ein enges gußeisernes Gerüst die freie Zugänglichkeit des Ambosses und ist bei der schlechten Verbindung beider Hälften, nur am oberen Ende, häufigen Brüchen ausgesetzt; der Zylinder sitzt mit seiner wichtigsten Dichtung direkt auf der Traverse und hat hier also an ungeeignetster Stelle Erschütterungen zu übernehmen. Die Steuerung mit gewichtsbelasteten Glockenventilen ist primitiven Formen des Dampfmaschinenbaues nachgebildet; die Verbindung zwischen Kolbenstange und Bär (Abbildung 29) läßt die harten Schläge direkt auf die Befestigung selbst gelangen, welche als Flachkeil dafür gänzlich verfehlt erscheint, und überträgt außerdem Seitendrücke auf Stangen und Stopfbüchse. Die heute übliche Ausführungsart (Abbildung 30 u. 31) zeigt auf breitem schmiedeeisernem Gestell gut gelagerte und starr verbundene Führungsstücke mit nachstellbaren Führungsflächen, der Zylinder ist mit seinem Stopfbüchsenansatz in einem Stück und mit getrenntem Steuerkasten versehen, um alle wichtigen Dichtungen möglichst von der direkten Übertragung von Erschütterungen freizuhalten; die Stangenverbindung nimmt Rücksicht darauf, den eigentlichen Schlußkeil möglichst von Schlagwirkungen und die Kolbenstange von Seitendrücken freizuhalten, und die Steuerung geschieht eventuell mit selbsttätiger Umstellung durch federbelastete Rohrventile. Es schien nichts im

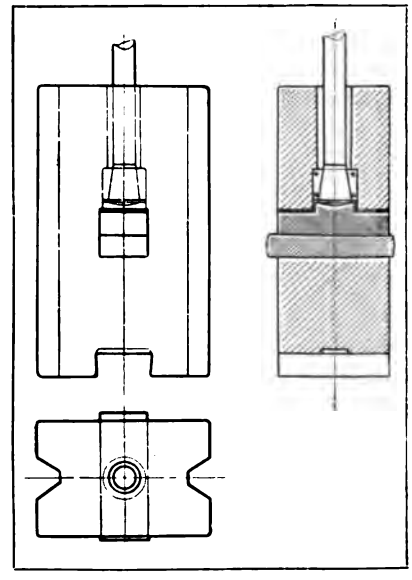


Abbildung 29. Hammerbär (5-Tonnen-Hammer).

Wege zu stehen, um nach solchen allgemeinen Grundsätzen den Hammer zu immer größerer Dimension auszubilden, und das geschah auch bis zu der fast als technisches Weltwunder bestaunten Form nach Abbildung 32, in welcher ein 125 t schwerer Bär aus 6 m Fallhöhe niederzusausen hatte.

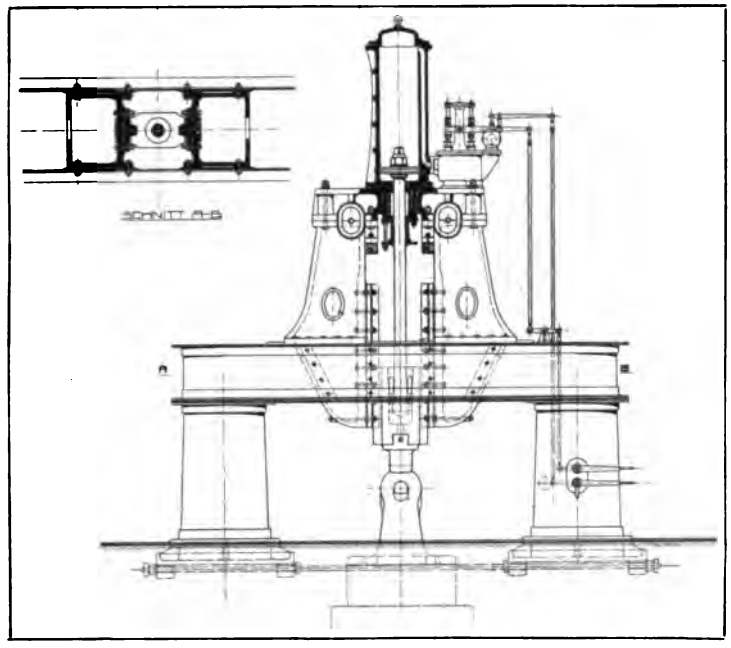


Abbildung 30. Dampfhammer (4 Tonnen).

Ebensowenig wurde die Entwicklung des Dampfhammers zum Schnellhammer vor konstruktive Unmöglichkeiten gestellt, wenn auch Abbildung 33 zeigt, daß dabei spezifisch andere Formen entstehen mußten. Das Gestell ist als offener Ständer ausgeführt, die Ventilsteuerung wegen der höheren Schlagzahl durch die Kolbenschiebesteuerung ersetzt, die Umsteuerung aus gleichen Gründen selbsttätig geworden, jedoch derart mit wenigen und einfachen Mitteln unter die Kontrolle des Hammerführers gestellt, daß jederzeit Anhalten des Bärs in irgendeiner Höhe sowie klebende Schläge möglich sind; aber nach beiden Richtungen ist der Dampfhammer dabei an die Grenze seiner Zweckmäßigkeit gelangt, wo sein Ersatz durch geeignetere Bearbeitungsmaschinen nötig geworden ist.

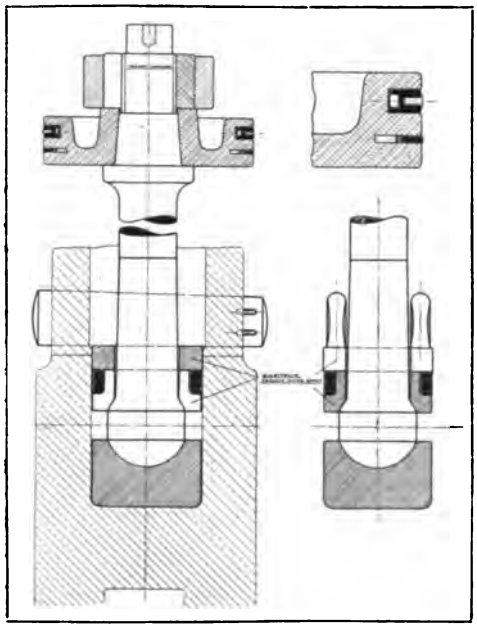


Abbildung 31. Stangenbefestigung.

Der Schnellhammer einerseits genügt wohl den engeren Betriebsanforderungen der Kleinschmiede, jedoch keineswegs den Rücksichten auf günstige Ausnutzung seines Betriebsmittels, des Dampfes; im Gegenteil, die allgemeine Anlage und Ausführung kleiner Hämmer widerspricht vielfach geradezu den Grundsätzen der Dampfökonomie. Zunächst wird in der weitverzweigten Zuleitung, noch dazu unter dem Einfluß von Erschütterungen und schlechter Instandhaltung, ein wesentlicher Dampfverlust in Kauf zu nehmen sein; dann bedingt die eigenartige Kolbenwirkung zwischen zwei in ihrer Größe sowohl durch das Werkstück als auch die Hübe stark veränderlichen Räumen ungünstige Dampfwirkung, besonders auf der Oberdampfseite, wo an sich schon konstruktiv ein sehr großer schädlicher Raum mit großen wärmeentziehenden Oberflächen entsteht. Es kann somit

von normaler Expansionswirkung des Dampfes wohl selten die Rede sein, besonders wenn zu enge Steuerkanäle bei hoher Schlagzahl noch wesentliche Dampfdrosselung zu den übrigen Mängeln hinzufügen. Der Schnellhammer ist aus solchen Gründen in den Ruf eines „Dampffressers" gekommen, und wenn man ihn dennoch beibehält, so ist es wohl in der Mehrzahl der Fälle darauf zurückzuführen, daß man sogenannten „billigen Dampf" aus der Abhitze von Öfen zur Verfügung hat, welche die Wärme ihrer Feuergase nicht für den Ofenzweck allein verwerten können; eine Abdampfverwertung in Akkumulator und Turbine endlich könnte dann etwa das eigenartige Spiel dieser Energieumsetzung abschließen. Entschließt man sich jedoch für Neuanlage und Umbau zu dem sicher richtigeren Grundsatz, mit der Wärme keine Umwege zu machen, so wird die Ofenanlage ihre Abhitze möglichst sich selbst wieder nutzbar machen und der Hammerbetrieb in sich ebenfalls zu besserem Gesamtwirkungsgrad zu gelangen suchen. Mit der Einführung von Verbundwirkung in Schnellhämmern dürfte aber nur wenig zu erreichen sein gegenüber den sonstigen Faktoren, welche bei ihnen den hohen Dampfverbrauch bedingen; denn um die Vorteile der Verbundwirkung zur Geltung kommen zu lassen, fehlen beim Hammer so ziemlich alle Voraussetzungen; eher dürfte sich, wenn man die Tendenz der letzten Jahre übersieht, der Ersatz des Dampfes als Betriebsmittel durch die Elektrizität von einer gewissen Größe der Hämmer ab verallgemeinern, Hand in Hand mit dem Ersatz des direkten Antriebes durch den indirekten.

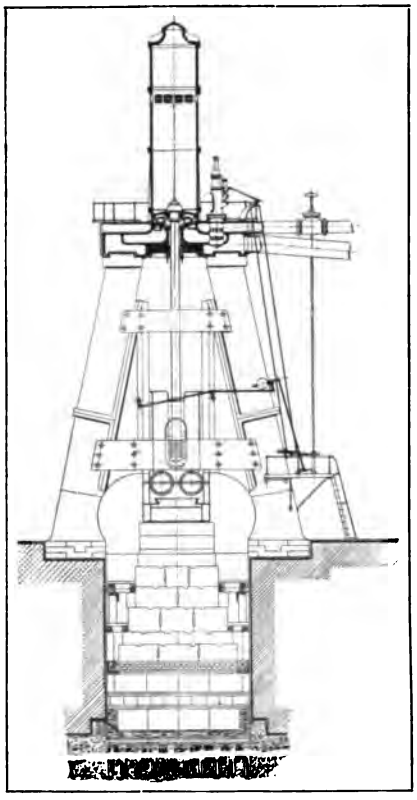


Abbildung 32. Dampfhammer.
Bärgewicht 125 t, Fallhöhe 6 m.

Der Lufthammer, welcher sich in solchem Gedankengang als Ersatz des Dampfhammers ergibt (Abbildung 34), benutzt als Vermittler zwischen einer umlaufenden Welle und dem Hammersystem einfach Luft, welche in regulierbaren Polstern auf beiden Seiten eines Kolbens zur Wirkung kommt. Der mit dem Triebwerk verbundene obere Kolben erzeugt beim Hochgang unter sich ein Vakuum, welches das freibewegliche System des Arbeitskolbens samt Stange und Hammerbär mit einer gewissen Verspätung der Bewegung dem angetriebenen Kolben nachfolgen läßt. Diese Verspätung der freien Bewegung gegenüber dem angetriebenen Kolben bedingt aber bei dessen Umkehr eine gewisse Kompression des oberen Luftkissens, welche die Schlagbewegung einleitet. Einfache Einwirkungen von außen auf diese Lufträume lassen bei unveränderlicher Schlagzahl die Schlagstärke beeinflussen. Verlangt endlich der Betrieb einen „setzenden Schlag", welcher den Hammerbär nicht zu rasch nach dem eigentlichen Schlag wieder in die Höhe federn lassen soll, so kann der Antrieb des Zylinders selbst aus einer schrägliegenden Kurbelschleife (Abbildung 35) das Bewegungsgesetz des freien Systems entsprechend verändern, allerdings muß dabei statt des leichten Hilfskolbens der vorigen Konstruktion nunmehr der ganze Zylinder von der Welle aus bewegt werden, nicht völlig im Interesse des Schnellbetriebes.

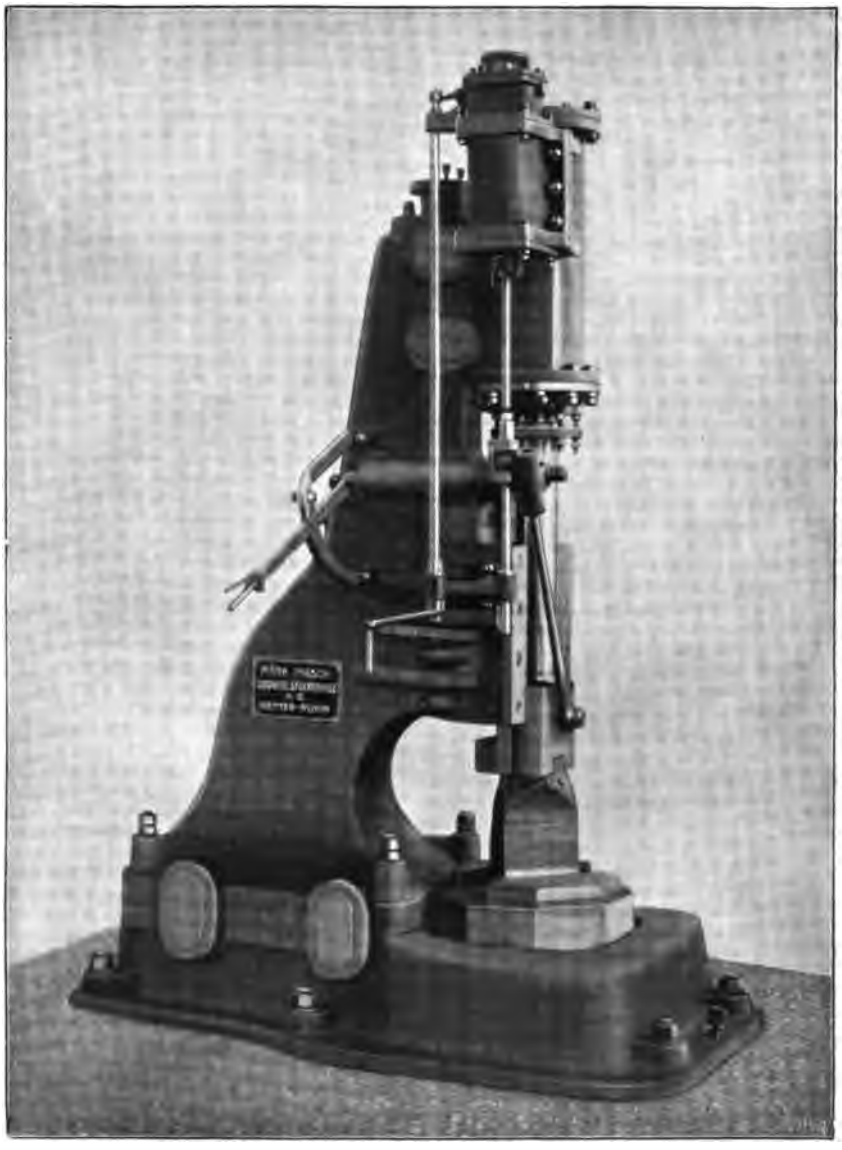


Abbildung 33. Ansicht eines Schnellhammers.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Bei der Entwicklung des Dampfhammers nach der anderen der vorerwähnten Richtungen, zum Riesenhammer, waren es nun nicht allein rein wirtschaftliche Überlegungen, die zu einem Ersatz drängten, vielmehr die Unmöglichkeit, bei großen Schmiedestücken mit der äußeren Formgebung auch eine homogene innere Verdichtung, die geforderte Materialverbesserung, zu vereinigen; mit der Größe des Hammergewichts wächst eben der Einfluß des grundsätzlichen Fehlers, Energie durch Stoß übermitteln zu wollen. Dieser Stoßwirkung ist es zunächst eigentümlich, daß die Zeit der Einwirkung des fallenden Hammerbärs auf das Werkstück mit der Erhöhung seiner Endgeschwindigkeit immer kleiner wird, so daß sich die Einwirkung wegen innerer Massenwirkung und Reibung im plastischen Material immer mehr auf die äußersten Schichten beschränkt; die Materialeigenschaften werden somit nicht nur nicht verbessert, sondern in ungünstigen Fällen durch das Zerreißen der äußeren Materialschichten direkt verschlechtert. Gleichzeitig macht sich aber immer mehr der Energieverlust geltend, welcher für die Stoßwirkung charakteristisch ist, und die Unmöglichkeit, die freien Kräfte im Abstoß und im Aufbau des Hammers selbst zu beherrschen. Das Werkstück ist nur ein Vermittler zwischen dem fallenden System des Bärs und dem ruhenden des Ambosses und seiner Unterlage, und jeder Schlag des Hammers bedeutet eine Rammung für

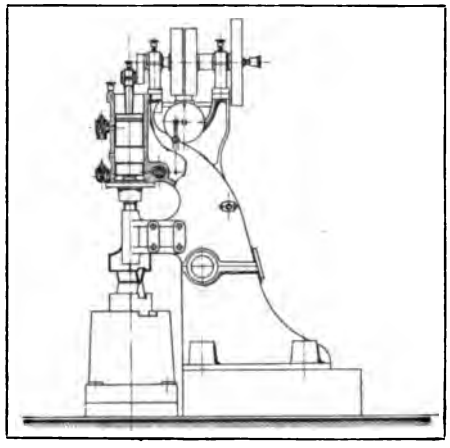


Abbildung 34. Lufthammer.

den Amboß. Nur jener Teil der gesamten Energie des fallenden Systems, welchen der Amboß bei einem gewissen Verhältnis der beiderseitigen Massen nicht selbst aufzunehmen vermag, kann zur Formveränderung des Werkstückes herangezogen werden; der Rest aber, von diesem Massenverhältnis und der Endgeschwindigkeit abhängig, ist in der Unterlage des Ambosses aufzunehmen und unschädlich zu machen. Selbst wenn man die enormen Energieverluste eines solchen Arbeitsverfahrens und die außerordentlichen Kosten für die Gesamtanlage von Hammer, Amboß und Fundament in Kauf nehmen wollte, würde es doch unmöglich sein, sich mit der Mißhandlung des Materials und den schweren Erschütterungen und Schädigungen des Hammeraufbaues und seiner ganzen Umgebung abzufinden; der Riesenhammer in Abbildung 32, über dessen Betrieb nur sehr wenig bekannt wurde, mußte abgebrochen werden, nachdem er jahrelang stillgestanden hatte.

Die Verwendungsmöglichkeit des Hammers ist somit begrenzt bei bestimmten Bärgewichten, welche erfahrungsgemäß 5 t nicht wesentlich überschreiten können, und sie ist außerdem auf Arbeiten beschränkt, bei denen es sich nicht mehr um gründliche Verdichtung des Materials handelt, sondern nur um eigentliche Formgebung. Im Übergang zu größeren Anlagen kann zunächst, wie Abbildung 36 zeigt, der Dampfhammer sich mit einer Schmiedepresse in das Arbeitsprogramm teilen, dabei die Vorarbeit der langsamer gehenden Presse überlassend, während er selbst mit raschen Schlägen die Formgebung übernimmt. Für noch größere Schmiedestücke kann aber nur die Presse in Frage kommen, denn sie vermag nicht nur den Ansprüchen in bezug auf Verbesserung der Materialeigenschaften gerecht zu werden, sondern auch neben Vermeidung aller schädlichen freien Kräfte rein wirtschaftlich zu günstigerer Wirkung zu gelangen.

* * *

Die Presse besitzt vor allem dem Hammer gegenüber völlig geschlossenen Aufbau, so daß das Fundament keine freien Kräfte von Bedeutung mehr aufzunehmen hat; in diesem geschlossenen Aufbau wird eine Preßbahn unter konstantem Druck, welcher sich nach der Größe der zu bearbeitenden Fläche und der Temperatur des

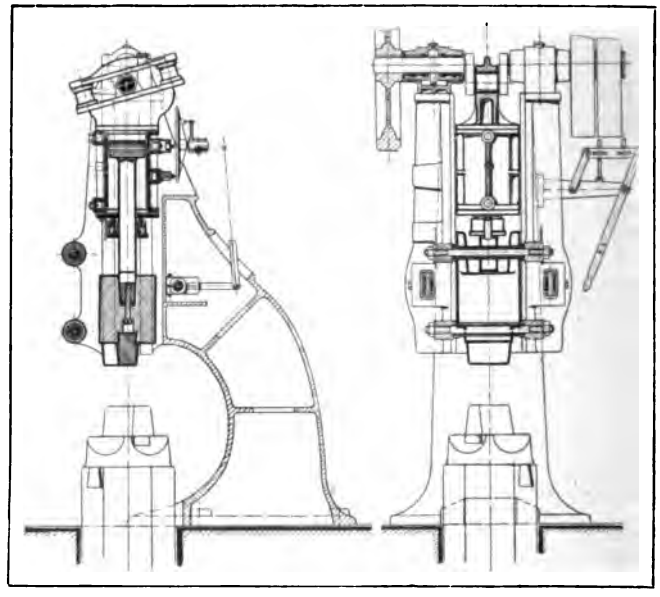


Abbildung 35. Lufthammer.

Werkstückes zu richten hat, nach unten gedrückt, und diese ruhige Druckwirkung vermag sich nun in das Innere des Werkstückes fortzupflanzen, also die beabsichtigte Formgebung mit einer energischen Verdichtung des Materials zu vereinigen. Allerdings werden bei dieser veränderten Arbeitswirkung, welche jeden Stoß prinzipiell vermeidet, sehr hohe Kolbendrücke nötig; dem entspricht aber einfach der Ersatz des Dampfes durch Wasser, welchem beliebig hohe Pressungen übertragen werden können, und der Ersatz des Scheibenkolbens durch Tauchkolben. Besondere Rückzugszylinder heben die Traverse samt der Hammerbahn wieder hoch.

Zum Gesamtaufbau einer Schmiedepresse, die auf den ersten Blick dem Hammer gegenüber einfach erscheint, gehört somit auch die Steuerung und Erzeugung

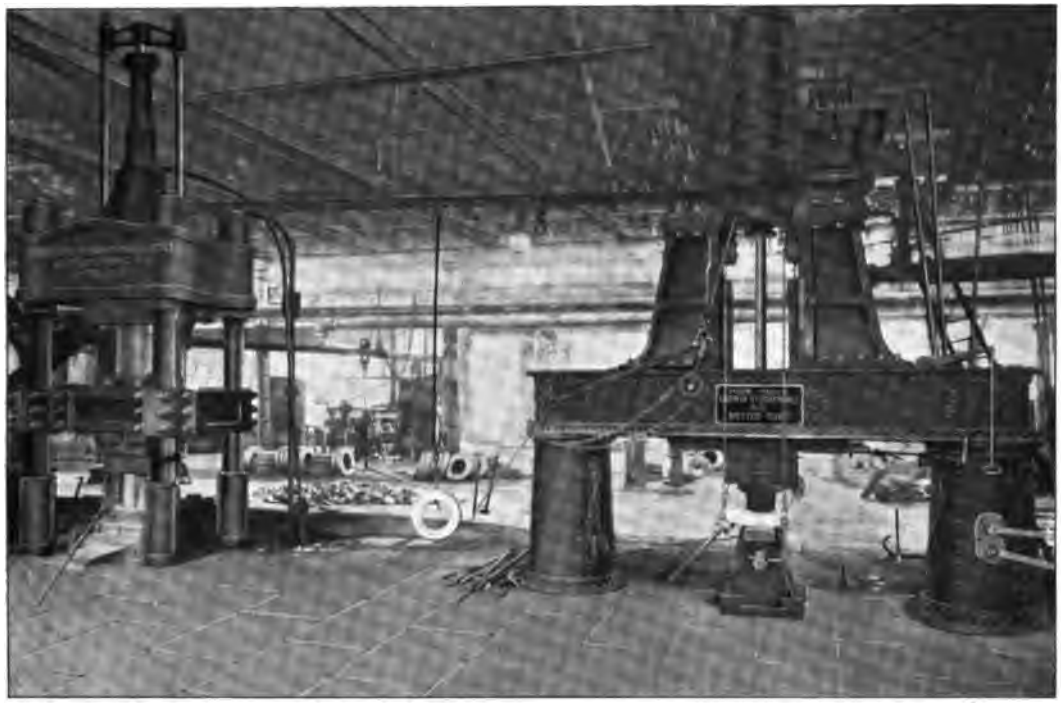


Abbildung 36. Ansicht von Hammer und Presse nebeneinander.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

des Preßwassers. Dies ist wohl zu beachten, wenn man sich über die Eigenart dieses Betriebes klar werden will; und die Anforderungen der Wirtschaftlichkeit, welche kurz gefaßt darauf hinausgehen müssen, eine gewisse Arbeit zwischen Hammer und Amboß mit geringstem Energieaufwand und geringstem Druckverlust zwischen Druckkolben und Erzeugungsstelle des Preßwassers durchzuführen, legen gewisse Grundsätze fest, nicht nur für den Aufbau der Presse selbst, sondern auch für die Anordnung der Steuerung und die Art der Preßwassererzeugung. Für gewöhnlich hat die Preßbahn beim Niedergang vor dem Aufsetzen auf das Werkstück einen gewissen Leerhub aus ihrer Höchstlage zurückzulegen, der Preßzylinder muß dabei durch Wasserzufluß gefüllt bleiben, die Wasserpressung für diesen Teil des Druckhubes jedoch geringer gehalten werden als die spätere Nutzpressung. Es wäre nun offenbar verfehlt, für dieses Nachfüllen unter Abdrosseln solches Wasser benutzen zu wollen, welches vorher etwa

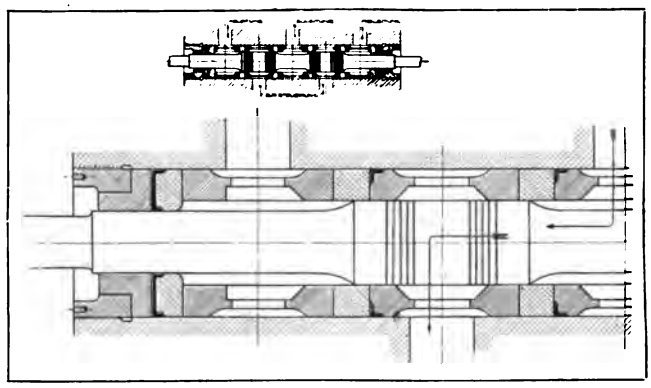


Abbildung 37. Steuerschieber (300 Atm. Druckwasser).

von der Preßpumpe gegen den hohen normalen Betriebsdruck einer Akkumulatorleitung gedrückt wurde; bei solcher Gesamtanordnung muß also neben dem eigentlichen Betriebsdruck noch ein geringerer Druck in einer besonderen Füllleitung vorgesehen sein. Ist ferner die Preßbahn auf dem Werkstück zur Auflage gelangt und für den weiteren Arbeitshub nunmehr Volldruck benötigt, so ist die Wasserlieferung vom Steuerapparat unter diesem Druck nicht auch sofort mit einer Arbeitsbewegung der Preßbahn verknüpft, sondern es muß zunächst mit Aufwand eines gewissen Wasservolumens der geschlossene Aufbau der Presse unter den neuen Druck gesetzt werden, sowie auch das gesamte vorhandene Wasservolumen im Preßzylinder und in der Leitung bis an jene Stelle, wo der neue Druck zur Verfügung steht bzw. erzeugt wird. Dieses zusätzliche Volumen außerhalb der eigentlichen Presse ist gewissermaßen „schädliches Volumen", denn es zwingt zu einer Arbeitsleistung an der Erzeugungsstelle, welche im Werkstück nicht wieder in Erscheinung tritt. Somit ist nicht nur in der ganzen Leitung und im Steuerapparat beste Dichtung und geringster Druckverlust anzustreben, sondern auch durch geeignete Disposition jenes Wasservolumen möglichst klein zu halten, welches beim Übergang vom Fülldruck zum eigentlichen Preßdruck eine merkbare Verdichtung erfahren muß, sowie endlich der Aufbau der Presse selbst genügend stark durchzuführen, damit diese Druckdifferenz von nur geringer Dehnung in der Presse begleitet ist.

Diesen hauptsächlichsten Überlegungen versucht die Konstruktion und Anordnung der Schmiedepresse gerecht zu werden, ohne jedoch in jeder Beziehung das Ziel erreichen zu können. Zwar kann die Steuerung des Preßwassers, selbst für sehr hohe Drücke, konstruktiv gut beherrscht werden; Abbildung 37 zeigt beispielsweise einen Kolbenschieber mit rein metallischer Dichtung für die inneren hohen Wasserpressungen, welcher bei völlig sandfreiem Wasser leichte Beweglichkeit, gute Dichtung und hohe Betriebssicherheit vereinigen läßt. Da in ihm selbst sich der vorerwähnte Druckwechsel abspielt, so wird er bei Hochdruckanlagen so weit als möglich an den Preßzylinder heranzurücken haben, welchem er nach erfolgtem Füllen den hohen Arbeitsdruck zu übermitteln hat.

Auch der engere Aufbau der Schmiedepresse selbst vermag in genügend starrer Aus-

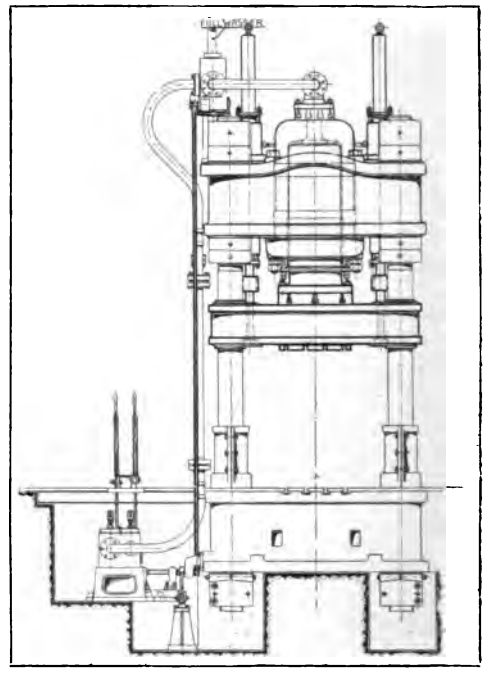


Abbildung 38. Neuere Schmiedepresse.

bildung guten Kräfteschluß zu erzielen mit verhältnismäßig geringer Dehnung im Druckwechsel. Bei neueren Ausführungen, wie sie in Abbildung 38 u. 39 dargestellt sind, verbinden kräftige Säulen die beiden Traversenstücke, in welchen Druckzylinder und Amboß Aufnahme finden; der Zylinder wird auswechselbar in die obere Traverse eingesetzt und aus einem möglichst homogenen Stahl hergestellt, damit er durch ungleichmäßige Dehnungen nicht mehr oval verspannt werden kann. Hohe Stopfbüchsen anstatt der unsicheren Stulpdichtung am Preßkolben, gut zugängliche geteilte Rückzugszylinder, sorgfältig geführte Preßplatte und reichlich bemessene Gewinde an den Verbindungssäulen kennzeichnen die übrigen hauptsächlichsten Anforderungen an eine zweckmäßig durchgeführte Konstruktion.

Abbild. 39. Ansicht einer hydraulischen Schmiedepresse.

Bei der Preßwassererzeugung jedoch sind verschiedene Bestrebungen zu einem Kompromiß zu bringen, nämlich das Bestreben, ein gewisses Preßwasservolumen mit günstigstem Wirkungsgrad zu erzeugen, mit der Notwendigkeit anderseits, den Preßdruck des Wassers dem stets veränderlichen Bedarf der Presse anzupassen. Verluste können nach beiden Richtungen entstehen, entweder durch eine als Arbeitsmaschine an sich unvollkommene Pumpvorrichtung oder durch eventuelles Abdrosseln des vorher gegen höhere Drücke gepreßten Wassers im Steuerapparat, falls die Presse mit niedrigeren als den benötigten Wasserpressungen bei gleicher Kolbenfläche zu arbeiten hat. Das einfachste Mittel, verschiedene Preßdrücke durch eine Mehrzylinderanordnung in der Presse zu erreichen, scheidet aus Gründen der Betriebssicherheit wohl aus; somit ist in der äußeren Anordnung eine Möglichkeit zu schaffen, beiden Bestrebungen gerecht zu werden.

Die Anlehnung an gewöhnliche Preßwasserbetriebe mit verzweigten Leitungen brachte auch der Schmiedepresse den Akkumulator als Zwischenglied zwischen Erzeugungs- und Verwendungsstelle des Preßwassers, wenn auch beim Wegfall von Zweigleitungen der Akkumulator als Speicher und Ausgleich eigentlich seine ursprüngliche Berechtigung verloren zu haben scheint. Allerdings kann für die hohen Pressungen, die dabei verlangt werden, im Beispiel 500 Atmosphären, eine Gewichtsbelastung für den Akkumulatorkolben nicht mehr in Frage kommen, denn die Massenwirkung der enormen Gewichte würde bei raschen Bewegungen des Preßkolbens kaum mehr zu beherrschen sein; Luft als Belastungsmittel ist anderseits wohl massefrei, brächte aber neue Schwierigkeiten, wenn sie selbst unter solchen Drücken ab-

gedichtet werden sollte. Somit bekommt die Preßanlage mit Akkumulatorenbetrieb die charakteristische Form, wie sie Abbildung 40 und 41 zeigt, wobei ein Luftakkumulator eine Multiplikation des Druckes auf Wasserpressungen von 450 Atmosphären erreichen läßt, bei Luftpressungen von nur 50 Atmosphären. Genügend großer Luftraum ergibt verhältnismäßig unbedeutende Druckschwankungen während des Kolbenspiels, ein Hilfskompressor sorgt für eventuellen Luftersatz. Sämtliche Dichtungen am Akkumulator sind über Flur angeordnet und gut zugänglich; die Höhenlage des Akkumulatorzwischenstückes beeinflußt in einfacher Weise den Betrieb der Pumpe und stellt in Höchstlage deren Leitung völlig ab.

Vorteilhaft erscheint hierbei außer der Unabhängigkeit der Presse und ihrer Steuerung von der Pumpe und außer der Unabhängigkeit in der örtlichen Disposition

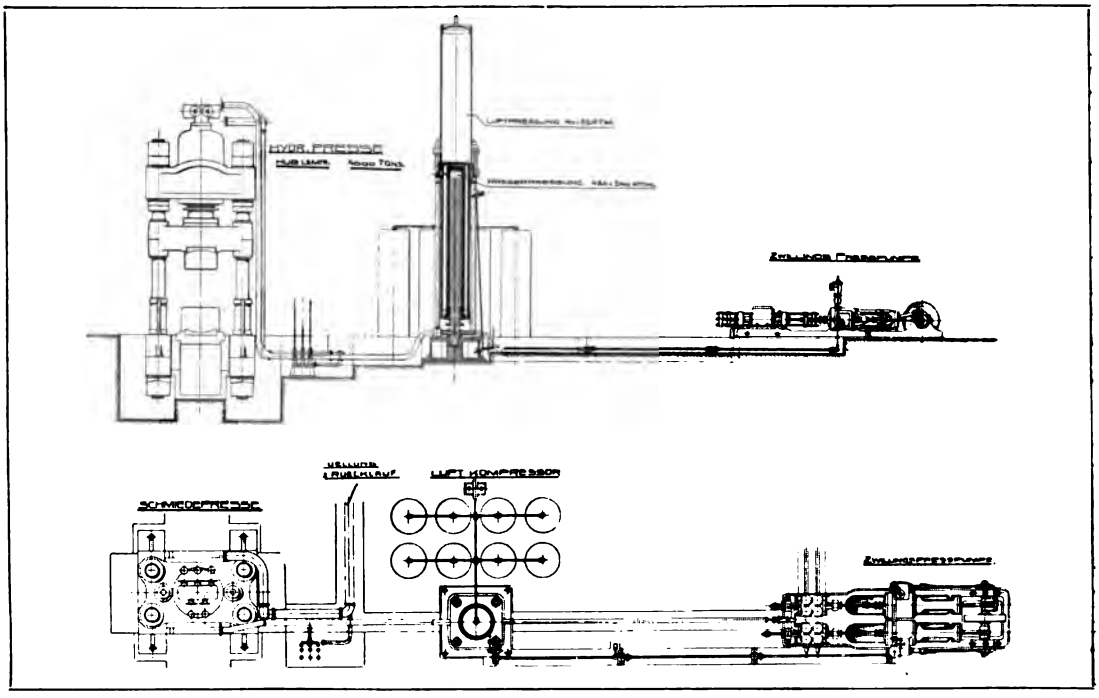


Abbildung 40. Hydraulische Preßanlage (mit Druckluftakkumulator).

von Pumpe und Presse, daß bei geeigneter Anordnung des Steuerkastens das schädliche Volumen sehr klein werden, und daß zusammen mit elektrischem Antrieb der Preßpumpe die Wirtschaftlichkeit der Preßwasserbeschaffung hohe Werte erreichen kann; auf der anderen Seite fehlt aber jeder derartigen Anordnung Anpassungsfähigkeit an etwa verschiedenen Kraftbedarf der Presse auf anderem Wege als durch das energievernichtende Abdrosseln des vom Akkumulator unter konstanter Belastung gelieferten Wassers. Sowohl die Anordnung mehrerer Akkumulatoren unter verschiedener Belastung als auch die Druckänderung in einem einzigen System ist ohne Komplikation kaum durchzuführen; die Anordnung wird also in dieser Form auf Betriebe mit annähernd immer gleichen Pressenleistungen sich beschränken sollen, wo ihre Nachteile keine wesentliche Rolle spielten, ihre Vorteile aber besonders hoch eingeschätzt werden müssen. Handelt es sich dagegen im eigentlichen Schmiedebetrieb um sehr verschiedene Arbeiten innerhalb einer Bearbeitungsperiode und dabei

nur um eine einzige Presse, welche von der Pumpe anzutreiben ist, so wird die Ursache der mangelhaften Anpassungsfähigkeit, die Aufspeicherung des Preßwassers in einem Akkumulator, verlassen und an Stelle des Akkumulatorenbetriebes der direkt wirkende gewählt werden können. Die Anlage nimmt dann dabei die Form nach Abbild. 42 an; der Akkumulator entfällt bei sonst gleicher Disposition, und die Pumpe arbeitet somit direkt gegen die Pressung, welche jeweils den veränderlichen Widerständen der Bewegung des Preßkolbens entspricht. Die Preßgeschwindigkeit hängt dabei einfach von der Förderung der Preßpumpe ab, deren Druck und Lieferung den Antrieb verschieden belasten wird; eine Verteilung der Förderung auf mehrere Preßplunger läßt sogar in geeigneter Steuerung jede Betriebsmöglich-

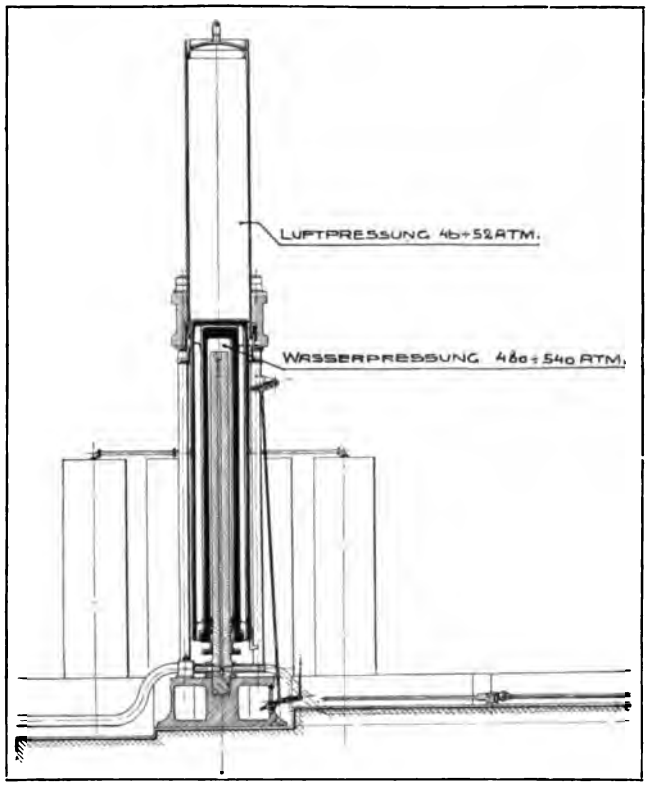


Abbildung 41. Druckluftakkumulator.

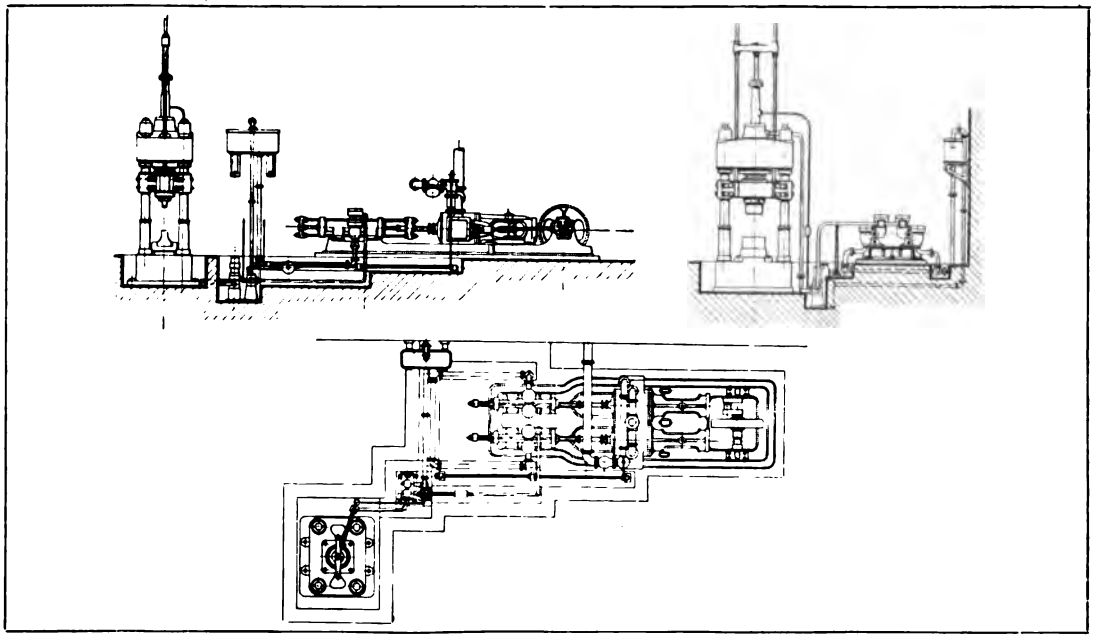


Abbildung 42. Hydraulische Preßanlage.

keit zu zwischen Volleistung gegen niedrige Pressung und verkleinerter volumetrischer Leistung gegen wachsende Preßdrücke; das Wasser verbleibt in ständigem Kreislauf zwischen Pumpe, Presse und Reservoir.

Es ist für diese Lösung eigenartig, daß wenigstens in der von der Presse getrennten Preßpumpe für sich allen Forderungen der Wirtschaftlichkeit entsprochen werden kann, und es drängt sich hier geradezu auf, durch Ersatz des Dampfantriebes durch den elektrischen dieses Charakteristikum noch stärker zu betonen; die Steuerfähigkeit des Antriebes an sich kann dabei ebenfalls nur gewinnen. Aber einerseits bedeutet hierbei die Wasserlieferung durch eine Kurbelpumpe die Notwendigkeit, in einem Steuerapparat in der Zwischenleitung den Betrieb der Presse unabhängig von demjenigen der Pumpe zu beeinflussen, damit etwa die erstere stillgesetzt werden kann, während die zweite vielleicht weiterarbeitet, wobei ein Sicherheitsventil Steuerfehler unschädlich zu machen hat; und anderseits ergibt sich ein sehr bedeutendes schädliches Volumen zwischen dem Preßkolben und dem Pumpenkolben, welches sich, in diesem Zusammenhang von allen Betriebsgesichtspunkten abgesehen, in wirtschaftlichen Nachteilen äußern kann. Der hohe Preßdruck wird eben nicht nur dort erzeugt, wo er auch benötigt ist, sondern in bedeutender örtlicher Entfernung.

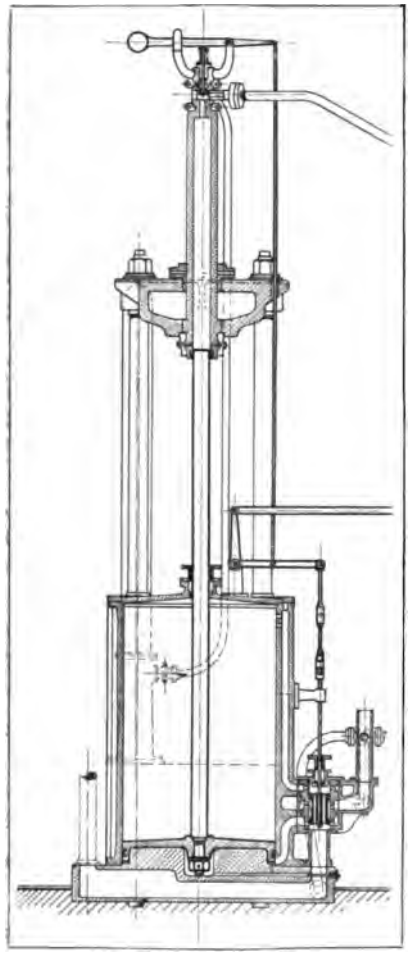


Abbildung 43. Dampfdruckübersetzer.

Von dieser Seite aus betrachtet, bedeutet es nur ein Kompromiß anderer Art, wenn an Stelle der Kurbelpumpe die einfache Hubpumpe mit Dampfantrieb tritt, die Preßanlage mit Dampfdruckübersetzer (Abbildung 43 u. 44). Hier besteht wieder direkte Druckwirkung zwischen Preß- und Pumpkolben; die Höhe des Preßdruckes ist bei dem im Antrieb vorhandenen Kolbenverhältnis begrenzt durch den Dampfdruck und regelbar durch dessen Drosselung, nur gestattet bzw. verlangt jetzt die Hubpumpe eine Steuerung nicht mehr in der Preßwasserleitung, sondern in der Dampfleitung allein, und mit dem Eröffnen des Abdampfes hört im gleichen Augenblick die Preßwirkung mit der Wasserförderung auf. Anderseits hängt es mit der Anordnung zusammen, daß nunmehr Rückzug und Leerhub nicht mehr von der Pumpe übernommen werden können, welche nur die Speisung des Preßzylinders selbst übernimmt, daß vielmehr hierzu der Anschluß an einen Akkumulator nötig wird. Dagegen bleibt gegenüber der vorigen Anordnung unverändert das große schädliche Wasservolumen zwischen Erzeugungs- und Verwendungsstelle, und es kommt neu hinzu als weitere wirtschaftliche Unvollkommenheit, daß die Hubpumpe nur mit Volldruckwirkung zu arbeiten vermag, bei verminderten Preßdrücken aber Drosselung des Dampfes nötig wird. Das heißt also, die Wirtschaftlichkeit dieser Preßwassererzeugung bleibt unter Umständen hinter jener elektrisch angetriebenen Kurbelpumpe zurück, welche zwar etwas vielteiligere Steuerung im Wasser-

wege selbst benötigt, dagegen der einen Erzeugungsstelle auch sämtliche Betriebsfunktionen zu übertragen vermag, offenbar zugunsten einfacher Gesamtanordnung.

Es ist sehr interessant, dieser Hubpumpenanordnung eine andere entgegenzustellen, welche die großen schädlichen Wasserräume und die örtliche Trennung der verschiedenen für den Gesamtbetrieb nötigen Einheiten zu vermeiden bestrebt ist. Die Abbildung 45 zeigt eine Anlage, bei welcher der Dampfdruckübersetzer direkt oberhalb des Preßzylinders angeordnet ist, so daß dieser selbst gewissermaßen als Pumpenraum benutzt werden kann; der hohe Wasserdruck wird also dort erzeugt, wo er direkt benötigt wird, das schädliche Volumen ein Minimum. Beim Leerhub bleibt der Dampfkolben in seiner Höchstlage, da das Füllwasser, aus einem Windkessel unter 15—20 Atmosphären Pressung eintretend, während dieser Zeit gegen seine Kolbenstange wirkt. Ein vor diesem Windkessel liegender zweiter Windkessel unter gleicher Pressung steht in ständiger Verbindung mit zwei Ausgleichzylindern, welche das Gewicht der Preßplatte und der mit ihr verbundenen Teile ausbalancieren, während an durchgehenden Kolbenstangen über diesen Ausgleichkolben die eigentlichen Rückzugskolben angeordnet sind. Der Rückzug vollzieht sich unter Dampfdruck auf diese Rückzugskolben; der unter Abdampf stehende Preßkolben geht dabei ebenfalls zurück, das im Preßraum verdrängte Wasser fließt durch ein angehobenes Rückschlagsventil in denselben Windkessel zurück, aus dem es beim Leerhub auf gleichem Wege durch das in diesem Falle selbsttätig öffnende Ventil wieder eintritt. Auch diese Art der Preßwassererzeugung kann naturgemäß für verminderte Preßdrücke die Wirtschaftlichkeit des Kurbelantriebes an sich nicht erreichen, während sie allerdings bezüglich des schädlichen Volumens und der Anordnung der einzelnen Aggregate der Gesamtanlage wesentlich gewonnen hat. Eine vorzügliche Werkstättenausführung wird den Nachteil

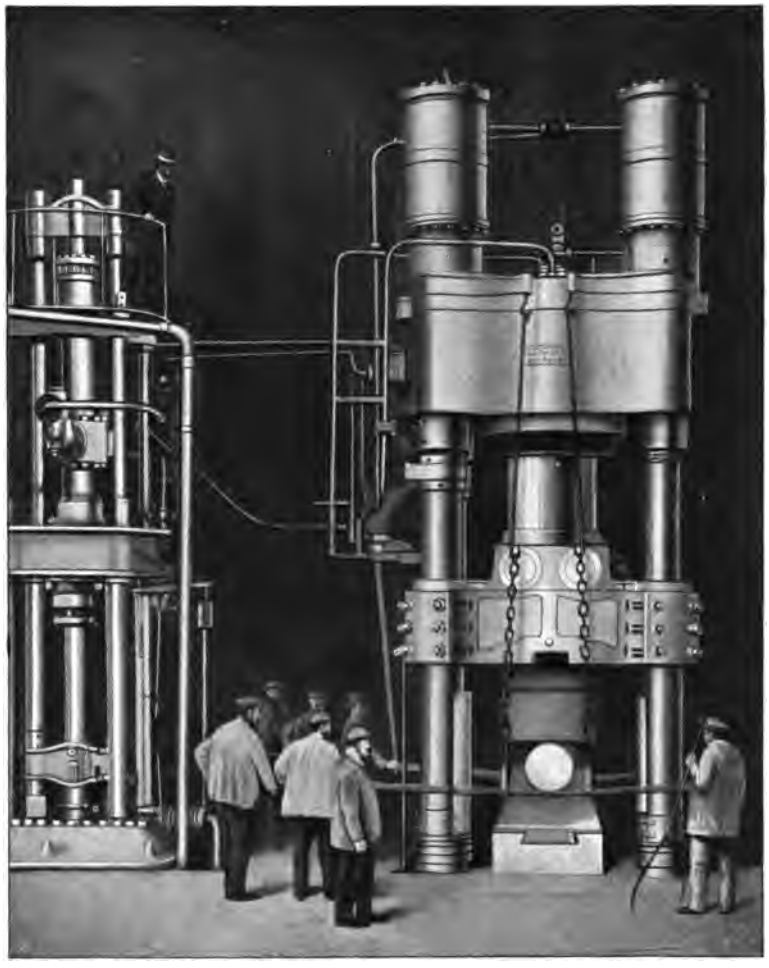


Abbildung 44. Ansicht einer Schmiedepresse mit Dampfmultiplikator. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

auszugleichen haben, welcher in der Übereinanderordnung so schwerer Teile enthalten sein kann, sobald sich Montagen an der Presse selbst nötig erweisen sollten.

Die Gegenüberstellung dieser einzelnen Lösungen läßt somit erkennen, daß bei den innerlich verschiedenen Anforderungen an Wirtschaftlichkeit und Anpassungsfähigkeit der Preßwasserlieferung immer ein Kompromiß nötig sein wird; aber trotzdem steht fraglos, alles in allem betrachtet, der Pressenbetrieb über dem Hammerbetrieb. Er allein ist imstande, der Grundforderung nach gründlicher Durcharbeitung des Materials zu entsprechen, größte Kräfte in völlig geschlossenem Aufbau zur Wirkung zu bringen, und sehr häufig werden die örtlichen Verhältnisse es ermöglichen, den Abdampf in einer besonderen Anlage zur völligen Verwertung gelangen zu lassen. Auf diesem Gebiete, wo große Hubzahlen pro Minute nicht verlangt werden, tritt denn auch die Überlegenheit der Presse gegenüber dem Hammer unverkennbar in Erscheinung, während es fraglich ist, ob der rasch arbeitende mittlere und kleine Hammer durch die Presse zu verdrängen sein wird, ob dessen Arbeitsbereich als dankbares Ziel für die weitere Ausbildung der Presse gelten darf.

Die Abbildung 46 zeigt zum Beispiel eine Transmissionsschmiedepresse, welche bei einem Preßdruck von 10 t 80 Hübe pro Minute auszuführen vermag. Das Preßwasser tritt hierbei als unelastischer Vermittler auf, zwischen einem angetriebenen Pumpenkolben und dem Preßkolben selbst, und würde diesem, welcher durch Gewichtsbelastung zurückgeführt wird, eine pendelnde Bewegung zwischen zwei unveränderlichen Grenzlagen übermitteln, falls das Wasservolumen zwischen beiden Systemen konstant bliebe. Um nun während dieser Pendelung die Hubgrenzen selbst verschieben zu können, wie die fortschreitende Bearbeitung des Schmiedestückes es verlangt, ist an den Hauptpumpenkolben noch ein kleinerer angeschlossen, welcher in getrenntem Pumpenraum Zusatzwasser für die pendelnde Hauptwassersäule zu liefern vermag. Die einzelnen Arbeitsmöglichkeiten werden durch einen Steuerapparat festgelegt; ist dessen Hebel nach rechts gelegt, so wird dadurch ein linkes Umlaufventil angehoben, welches das geförderte Zusatzwasser in den Saugkasten zurückfließen läßt, die Pendelbewegung des Pressensattels bleibt ohne Vorschub. In der linken Grenzlage des Steuerhebels dagegen wird ein Rücklaufventil aus dem Hauptwasserraum geöffnet; das pendelnde Wasservolumen wird also kleiner, der Preßkolben nähert sich schwingend seiner Höchstlage. Wachsendem Vorschub endlich entspricht die Mittellage des Steuerhebels; das Zusatzwasser tritt dabei in den Hauptwasserraum durch ein selbsttätiges Rückschlagsventil über und bewirkt damit eine steigende Vergrößerung der pendelnden Wassersäule. So interessant diese Lösung erscheint, so dürfte doch der Betrieb zeigen, daß die Massenwirkungen der Rückzugsgewichte und der Wassersäule selbst die Hubzahl begrenzen und anderseits der Steuerapparat nur bei völlig sandfreiem Wasser dauernd dicht zu halten ist. In dieser Anordnung hat eben die Presse ein Gebiet beschritten, wo ihr Übergewicht über den Hammer immer mehr verloren gehen muß. Wie weit bei einer Steuerung beider Bewegungen durch Preßwasser allein oder mit Dampf

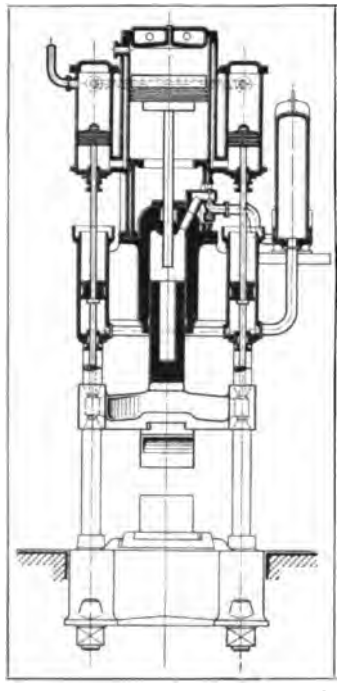


Abbildung 45. Dampfhydraulische Schmiedepresse.

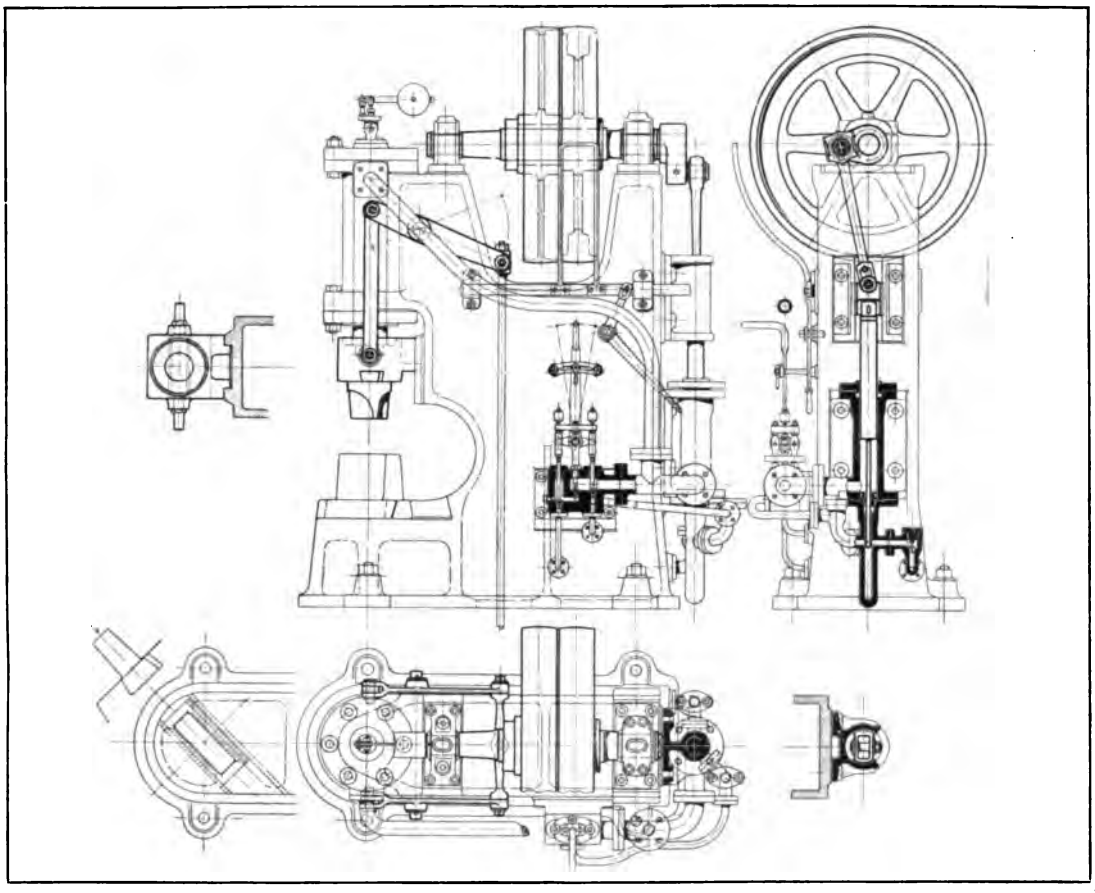


Abbildung 46. Schnellschmiedepresse.

zusammen die Presse den kleinen Transmissionshammer verdrängen kann, ist eine Frage, welche nur an Hand der jeweiligen Betriebsverhältnisse zu entscheiden ist.

4. EINRICHTUNGEN DER WALZWERKE

Das gesamte Arbeitsprogramm eines großen selbständigen Walzwerks umfaßt eine sehr bedeutende Zahl von einzelnen Profilen. Zunächst kommt in einfachen quadratischen oder rechteckigen Querschnitten „Halbzeug" in Betracht, entweder in Form vorgewalzter Blöcke und Brammen oder verschiedenartiger Knüppel und Platinen; dem schließen sich als „Fertigfabrikate" an zunächst die große Gruppe der Formeisen, das gesamte Eisenbahnbaumaterial von sämtlichen Profilen von Schienen und Schwellen, das Handelsstabeisen in Form von Rund-, Vierkant-, Flach-, Band- und profiliertem Eisen und endlich die verschiedenen Stärken gewalzten Drahtes; selbständige weitere Gruppen der Fabrikation bilden die verschiedenen Bleche. Die Anzahl der einzelnen Fertigprofile ist also eine sehr große, die Fabrikation jedoch im Einzelfall eine so gleichartige, daß sich der Gedanke an Verringerung der Selbstkosten durch weitgehende Spezialisierung geradezu aufdrängt. Solche Spezialisierung auf ein beschränktes Arbeitsprogramm könnte gegebenenfalls bereits beim Ausgangsprodukt, dem

gegossenen Block, einsetzen, sämtliche Einrichtungen des Walzwerks selbst und insbesondere die gesamten Transportvorrichtungen umfassen und durch günstige Ausnutzung dieser völlig einheitlich zugeschnittenen Einrichtungen zu einem enormen Übergewicht auf dem Markt gelangen, sofern eben auf diesem auch dauernde Aufnahmefähigkeit zu vorteilhaften Preisen gesichert ist. In der Tat ist es nur die Rücksicht auf die Absatzverhältnisse, welche hierbei das Bestreben nach Spezialisierung begrenzt, denn schon teilweiser Stillstand belastet derart weitgehend zugeschnittene Einrichtungen mit so hoher Amortisation, daß die Gewinngrenze wohl bald unterschritten werden muß.

Für die Einzeleinrichtung und Gesamtanordnung eines großen Walzwerks mit „gemischtem Walzprogramm" und für die dabei auftretenden Verschiedenheiten sind nun eine Reihe von Gesichtspunkten maßgebend, deren hauptsächlichste kurz erwähnt sein mögen:

1. Die Formgebung der einzelnen Profile erfolgt unter bestimmten Verschiedenheiten hinsichtlich Kraftverbrauchs des Antriebs, Walzdrücken, welche in der Konstruktion aufzunehmen sind, Transport- und Fertigstellungsarbeiten; gruppenweise werden diese Bedingungen ähnliche sein und ein Zusammenfassen der Erzeugung auf jeweils ein einziges Walzwerk zulassen, welches also nur mit einer gewissen Annäherung als spezialisiert bezeichnet werden kann. Die Abbildung 47 läßt eine solche Unterteilung der gesamten Produktion auf einzelne Walzwerke erkennen.

2. Die Ausbildung des Endprofils kann nicht auf einmal erfolgen, sondern in mehreren „Stichen" nacheinander; die einzelnen nötigen „Kaliber" finden auch nicht als Eindrehungen auf den Walzen eines einzigen Walzgerüstes Platz, sondern in mehreren gemeinsam angetriebenen Gerüsten einer „Walzenstraße".

3. Der kontinuierliche Bearbeitungsvorgang zwischen solchen Walzen deutet für die Erzielung hoher Produktion auf möglichst große Umgangsgeschwindigkeiten der Walzen hin; die beim sicheren Erfassen des Stabes zu berücksichtigenden Massenwirkungen legen diese Umgangsgeschwindigkeiten jedoch nach oben fest, so daß die schwereren Straßen mit geringeren Walzengeschwindigkeiten arbeiten müssen als die kleineren.

4. Der Umlaufsinn der Walzwerke ist dabei entweder wechselnd, wie bei den schweren Reversierstraßen, oder konstant, wie bei der Mehrzahl der übrigen; die

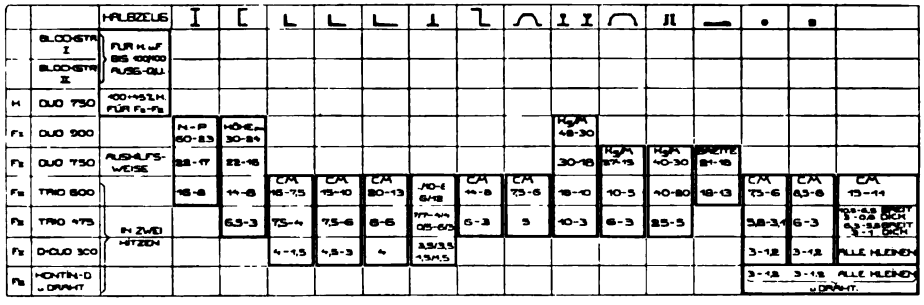


Abbildung 47. Walzprogramm.

Zahl der in einem Gerüst arbeitenden Walzen ist entweder zwei (Duostraßen) oder drei (Triostraßen).

5. Der Ersatz des Schweißeisens durch Flußeisen läßt der wirtschaftlichen Forderung nach möglichst großen Walzlängen eines eben die Walzen durchlaufenden

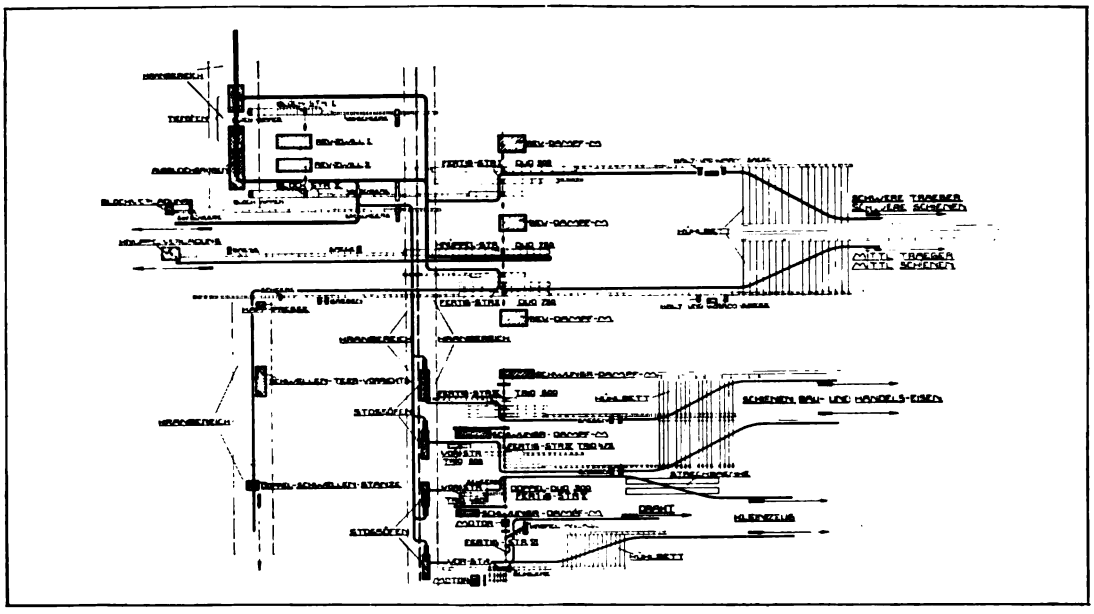


Abbildung 48. Verteilung der Walzenstraßen.

Stabes dadurch entsprechen, daß der Ausgangsblock in großen Dimensionen und Gewichten im Stahlwerk gegossen wird, wodurch dessen Betrieb bei flotter Produktion selbst wesentlich entlastet werden kann. Allerdings entstehen im Stahlwerk dabei Schwierigkeiten bezüglich homogenen Gusses, doch läßt sich annehmen, daß es dem Metallurgen noch gelingen wird, dieses Hindernis zu überwinden. Da aber nun jede einzelne Fertigstraße wieder verschiedene Ausgangsprofile einfachen Querschnittes benötigt, von welchem aus sie die eigentliche Formgebung übernimmt, so ergibt sich bei der Wahl sehr großer einheitlicher Blöcke die Aufgabe, in besonderen Blockstraßen die Herstellung dieser verschiedenen kleineren Profile zu übernehmen, wobei das einfache Blockprofil unter energischer Materialverdichtung in seinen Dimensionen dem Einzelbedarf entsprechend zu vermindern ist. Die Anlage enthält somit außer den Fertigstraßen noch Blockstraßen, hinter diesen einige Blockscheren, welche die vorgewalzten Blöcke auf die gewünschten Längen unterteilen, und weiterhin noch Erwärmungsvorrichtungen verschiedener Art und kommt damit zu einer Disposition etwa nach der Abbildung 48. Das Walzprogramm der einzelnen Straßen wird dabei zweckmäßig gegenseitige Überdeckungen mit den Nachbarn aufweisen, um sowohl eine gewisse Sicherheit gegen Betriebsstörungen zu erlangen, als auch die Betriebsleitung bei veränderten Aufträgen der Straßen zu erleichtern.

* *
*

Erwärmungsvorrichtungen sind zunächst in besonderer Form vor den Blockstraßen nötig. Der gegossene Block hat nach dem Abstreifen der Kokille keine so einheitliche Temperatur, wie es das Walzen verlangt; er muß deshalb zum Ausgleich in Gruben eingesetzt werden, welche ohne Wärmezuführung von außen und trotz eigenen Wärmeverlustes nach außen nach entsprechend langem Verweilen des eingesetzten Blockes diesen noch eine Temperatur erlangen lassen, welche für die folgen-

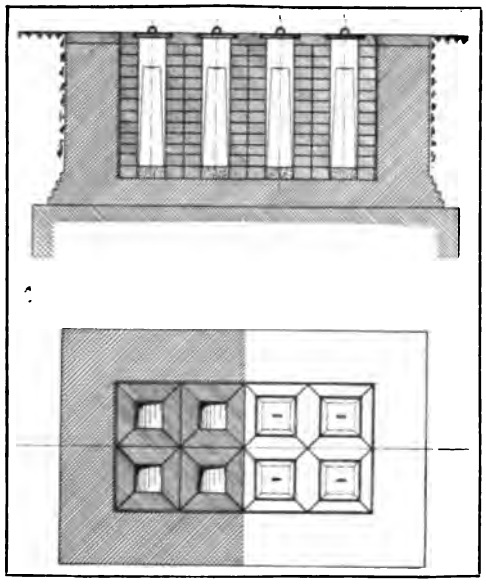


Abbildung 49. Ausgleichgrube.

den Bearbeitungsstufen und eventuell sogar das Fertigwalzen in einer Hitze ausreicht. Abbildung 49 zeigt solche Ausgleichgruben in einfachster Ausführung; ihre Verwendung setzt jedoch voraus, daß sie und das Walzwerk selbst in geringster Entfernung vom Stahlwerk liegen, sonst kann die mittlere Temperatur des ankommenden Blockes bereits so niedrig liegen, daß ihr Überschuß über die verlangte Blocktemperatur nicht mehr hinreicht, die Wärmeverluste der Gruben selbst in der Zeit des Ausgleichs zu decken; außerdem beruht solcher Ausgleich mit gewissen Schwankungen um eine Mitteltemperatur logisch auf einem kontinuierlichen Betrieb, denn zu lange Pausen zwischen der Beschickung der Gruben bringen diesen nur Wärmeverluste nach außen ohne gleichmäßige Wärmeeinnahme von den Blöcken aus; die einfachen Ausgleichgruben dieser Art sind endlich unbrauchbar für das Erwärmen kalt gewordener Blöcke. Somit wird eine Disposition, welche allen Eventualitäten gerecht werden muß, neben den ungeheizten Ausgleichgruben Tieföfen vorsehen, welche die gleichen Vorteile hinsichtlich der maschinellen Beschickung von oben besitzen, dagegen eine besondere Feuerung erhalten, und damit allen Anforderungen des Betriebes nachzukommen vermögen. Abbildung 50 zeigt einen solchen Tiefofen mit gewöhnlicher Kohlenfeuerung für einzelne Gruppen von Gruben. Feuerungstechnisch ist diese Anordnung nach den gleichen Gesichtspunkten zu bewerten, wie es an anderer Stelle für Wärmeöfen im Hammerwerk bereits geschehen ist; es kommt hinzu, daß ein offener Feuerungsbetrieb wohl an wenigen Stellen äußerlich so störend sein muß wie hier; der Ersatz der direkten Feuerung wird sich also mit Vorteil bis zur Regenerativfeuerung erstrecken können (Abbildung 51 u. 52), welche gegebenenfalls auch mit Gichtgasen betrieben werden kann. Die Blöcke werden durch einzelne Deckel in die nebeneinanderliegenden Gruben eingesetzt, welche gemeinsamen Schlackenabfluß erhalten müssen. Der Wärmeverlust des Systems ist durch die Tiefenanordnung der Kammern und Blockgruben an sich schon verhältnismäßig niedrig und wird im weiteren nicht unwesentlich beeinflußt von der Zeit, welche für das Einsetzen und Ausziehen der Blöcke bei abgehobenen Deckeln benötigt wird.

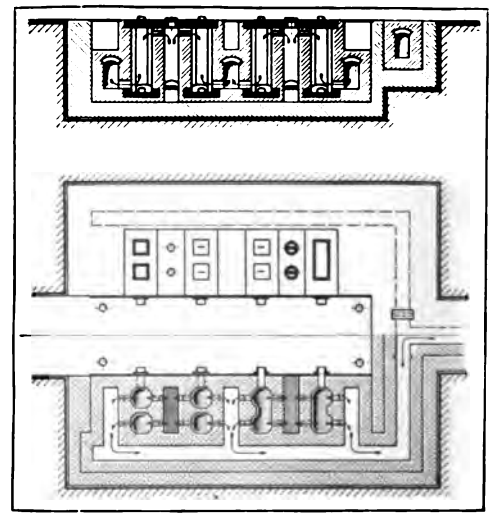


Abbildung 50. Tieföfen mit Rostfeuerung.

* *
*

Diese Transportaufgabe fällt wieder Spezialkranen zu, welche ähnlich wie die Abstreifkrane mit Zangen für hängende Blöcke

ausgeführt sind. In wenigen Fällen wird der Abstreifkran bei hoher Produktion selbst das Einsetzen der Blöcke in die Gruben der Tieföfen übernehmen können; er wird also mit eigentlichen Tiefofenkranen zusammen arbeiten müssen, deren Zangenkonstruktionen den beschränkten Raumverhältnissen der Gruben besser Rechnung tragen können als diejenigen der Abstreifkrane. Zunächst könnte natürlich jeder gewöhnliche Laufkran durch eine angehängte Zange mit besonderer Steuerung zum Tiefofenkran werden; bei der Verwendung derartiger beweglicher Zangen ist jedoch zum Erfassen des Blockes eine besondere Bedienung nötig, ebenso wie zum Abheben und Aufsetzen der Tiefofendeckel. In der völligen Ersparung der Bedienungsmannschaft auf Ofenflur und möglichst rascher Erledigung der einzelnen Bewegungen ist dann das Ziel festgelegt für die Ausbildung der Tiefofenkrane, welche überdies meist noch die Aufgabe haben werden, außer den Bewegungen am Tiefofen selbst noch größere Fahrbewegungen auszuführen, wenn ihnen nicht etwa besondere Blocktransportkrane das Verfahren der Blöcke zu den Blockstraßen abnehmen; eine starre Führung der Zange ist also hier sicher am Platze.

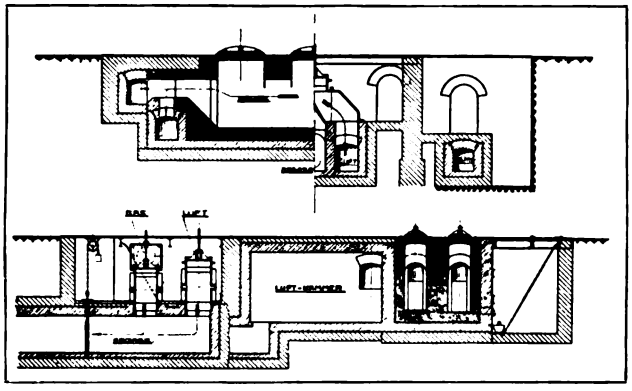


Abbildung 51. Tiefofen. (Siemens-Gasfeuerung.)

Im Aufbau eines solchen Krans finden sich bekannte Elemente wieder; genietete Führungsgerüste in genügender Stärke müssen dem unruhigen, ruckweisen Betrieb auf die Dauer gewachsen sein; die Gallsche Kette und ihre gefederte Befestigung an der Traverse, die Steuerung der Zange durch ihre Aufhängung an einem Seil, welches, durch Gegengewicht belastet, mittels einer Bremse festgehalten werden kann, ist nach den Erfahrungen an den Abstreifkranen direkt übernommen. Hier ist von dem Gegengewicht wenig zu befürchten, da es nur der leichten Zange selbst zu entsprechen hat, während am Abstreiferkran etwa zehnfache Lasten auszubalanzieren waren. Ganz sicher wird das Erfassen des Blockes aber erst dann, wenn die Zangenschenkel selbst in starrer Führung überhaupt nicht mehr schwingen können; allerdings wird dabei aufrechte Blocklage für das Erfassen nötig, sowie absolut sicheres Fahren des Kranes, sonst ist eine Beschädigung der Gruben und der Zange zu befürchten.

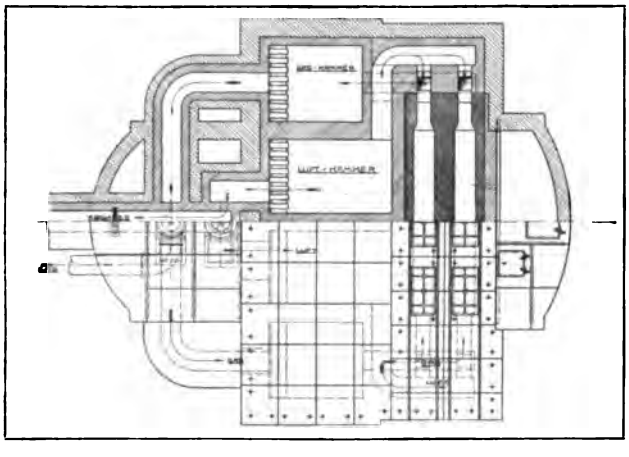


Abbildung 52. Tiefofen. (Siemens-Gasfeuerung.)

Für das Abheben und Schließen der Tiefofendeckel ist man auf die einfache Lösung gekommen, den Deckel mit der Zange selbst zu erfassen. Allerdings müßte dafür der Block zunächst auf Flur abgesetzt und der Kran mehrere Male verfahren werden; die kurzen, ruckweisen Bewegungen werden auch bei

der leichten Bauart eines solchen besonderen Tiefofenkrans beherrscht werden können. Soll jedoch der Abstreifkran etwa zugleich die Blöcke einsetzen oder ein Tiefofenkran längeren Blocktransport übernehmen, dann werden sowohl der Zeitverlust durch das Beiseitestellen der Blöcke als auch die größeren Massenwirkungen unbequem, und eine eigene Deckelabhebevorrichtung am Krangerüst selbst wird sich wohl bezahlt machen. Eine glückliche Lösung für die selbsttätige Deckelabhebung zeigt Abbildung 53. Die Massenkräfte bei dem raschen Abheben und Schließen der Deckel sind konstruktiv gut berücksichtigt, und der Kran ist in dieser Form bei hoher Produktion wohl demjenigen überlegen, welcher die Ofendeckel mit der Zange selbst bedienen muß. Die Aufgaben des Tiefofenkrans sind damit abgeschlossen, daß er den ausgehobenen Block einem Kippstuhl übergibt, welcher ihn auf die angetriebenen Rollen eines Transportrollganges niederlegt, durch welchen er endlich zum Blockwalzwerk gerollt wird. Sind nun mehrere Blockstraßen nebeneinander in gleichzeitigem Betrieb aus Tieföfen zu bedienen, deren Aufstellungsrichtung parallel mit derjenigen der Straßen liegen muß, so wird es auch hier häufig zweckmäßig sein, für die Tiefofenkrane in der ersten Disposition schon Gruppenbetrieb vorzusehen, eine gegenseitige Behinderung der einzelnen Tiefofenkrane auf gleicher Fahrbahn dadurch zu vermeiden, daß man ihnen den Längstransport der Blöcke zu den Kippstühlen der Blockstraßen wieder abnimmt, diesen vielmehr einem eigenen, auf besonderer Fahrbahn laufenden flinken Hilfskran überträgt, welcher die einzelnen Blöcke, wie Abbildung 54 zeigt, aus dem Kranbereich der Tiefofenkrane aufnimmt und zu den Straßen verfährt.

Abbildung 53. Ansicht eines Tiefofenkrans mit Deckelabhebevorrichtung. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

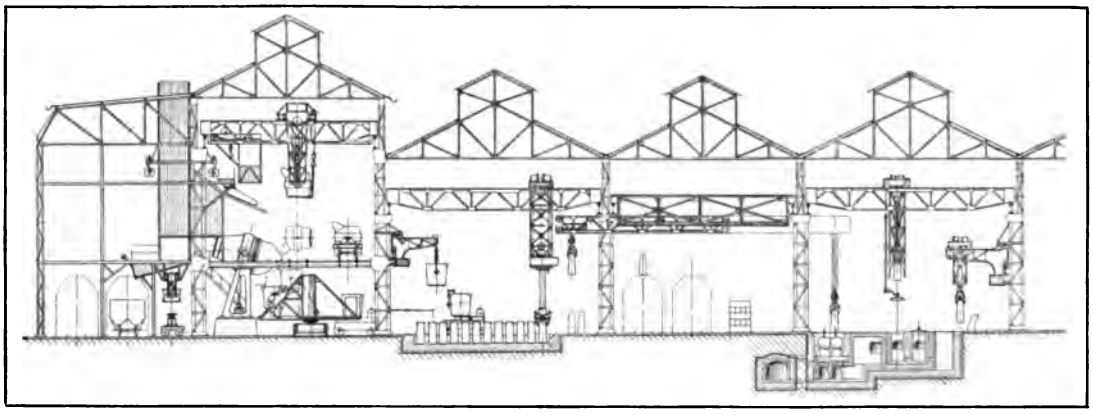


Abbildung 54. Materialdurchgang im Thomas-Werk. (Eigener Entwurf. Nachdruck verboten.)

Andere Formen der Öfen und ihre Bedienungseinrichtungen ergeben sich vor den Feinstraßen; dort müssen die kalt gewordenen Knüppel, welche von der Block- oder Knüppelstraße vorgewalzt wurden, vor der Weiterverarbeitung erst noch einmal erhitzt werden. Gute Wärmewirtschaft der Öfen, geringe Bedienungskosten bei hoher Produktion sind die Grundforderungen für diese Einrichtungen, immer schärfer hervortretend mit der Abnahme der Gewichte des einzelnen Walzstabes. Die Ofenform wird in ihrem Gegensatz zum Tiefofen zunächst dadurch bestimmt, daß die kleinen Blöcke und Knüppel nicht mehr sicher stehen können und deshalb liegend in den Ofen eingeführt und entnommen werden müssen; weiterhin ermöglicht sich aber hier ein automatisches Wandern des Einsatzes durch den ganzen Ofen hindurch und damit für den Erwärmungsvorgang das feuerungstechnisch bedeutungsvolle Gegenstromprinzip. Abbildung 55 zeigt einen derartigen Ofen für Halbgasfeuerung; der Herd ist zur Feuerung hin etwas geneigt und besitzt an tiefster Stelle einen Schlackenabfluß; die Blöcke werden rückwärts in den Ofen eingesetzt, gehen den Feuergasen entgegen und werden vorn hinter der Feuerbrücke wieder abgezogen. Damit ist zweierlei erreichbar. Zunächst werden die Feuergase offenbar günstigst für den Ofenzweck selbst ausgenutzt, weil sie bei genügender Ofenlänge vor dem Eintritt zum Rauchkanal im Ofen schon weit abgekühlt werden können; der Herd hat dem Gegenstromprinzip entsprechend abnehmende Temperaturen, und es ist nun mit einfachen konstruktiven Mitteln durchführbar, einen Teil der Abwärme an die Oberluft der Feuerung abzugeben bzw. die Verbrennungsluft eines reinen Gasofens vorzuwärmen. Anderseits gestattet aber der kontinuierliche Materialdurchgang durch den Ofen außerordentlich einfachen Ersatz der Menschenarbeit durch die Maschine. Die vorgewalzten Blöcke und Knüppel liegen im Ofen zu dessen Schonung auf Längsschienen auf, welche ein gleichzeitiges Verschieben des ganzen Satzes beim Einbringen neuer Chargen durch einen Blockdrücker ermöglichen. Abbildung 56 zeigt eine solche An-

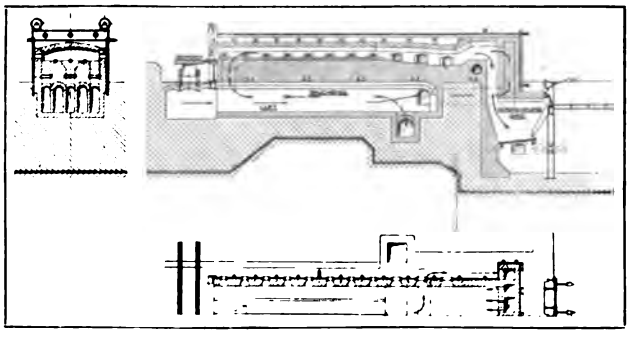


Abbildung 55. Stoßofen mit Halbgasfeuerung.

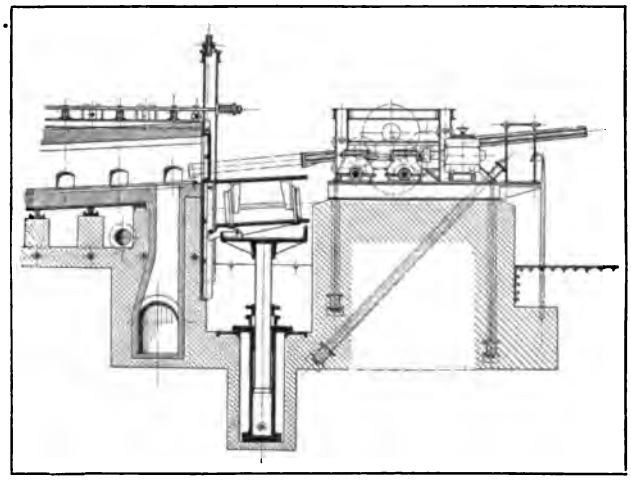


Abbildung 56. Wagen und Blockdrücker vor Stoßofen.

ordnung für kleine Profile, welche satzweise auf einem Wagen zugefahren werden; eine Hubvorrichtung bringt die Wagenplatte unter Schrägstellung auf Herdhöhe, und der Stempel eines Blockdrückers schiebt die ganze Ladung in den Ofen ein und mit der schon dort befindlichen den Feuergasen weiter entgegen. Im letzten Teil ihres Weges bis zu ihrer Entnahmestelle aus dem Ofen werden die Blöcke von außen mit Stangen gewendet, um die bisherigen Auflagestellen auf den Ofenschienen ebenfalls der direkten Flamme zugänglich zu machen, und dann gegebenenfalls durch einfache Blockauszieher (Abbildung 57) oder durch seitlichliegende Druckstempel aus dem Ofen abgeholt und dem Weitertransport übergeben.

Die Blockdrücker sind vielfach noch mit hydraulischem Antrieb durchgeführt (Abbildung 58), und in der Tat muß die Unempfindlichkeit des hydraulischen Betriebes gerade bei diesen stationären Einrichtungen direkt vor den Öfen besonders hervortreten; aber auch hier ist ein Ersatz durch elektrischen Antrieb möglich, nur wird er vielleicht in größeren Ausführungen die stationäre Anordnung verdrängen müssen, denn die Vorteile des elektrischen Betriebes ergeben gerade hier bei geeigneten Betriebsverhältnissen die Möglichkeit, fahrbare Konstruktionen (Abbildung 59) für mehrere Öfen gleichzeitig vorzusehen. Die Wagenkonstruktion wird gegenüber dem Kran wegen der bedeutenden Druckkräfte im Stempel in Kauf genommen werden müssen, aber hier hat der Wagen auch nicht den Zweck, große Wege mit hohen Geschwindigkeiten zurückzulegen, sondern er hat nur zwischen den Öfen, für welche er ausreicht, zu verfahren und bekommt die Blöcke von besonderen Transporteinrichtungen zugeführt. Für größere Ausführungen wird weiterhin der Wagenbetrieb zum Zubringen der Blöcke häufig dem Betriebe flinker Zangen oder Magnetkrane unterlegen sein, und besonders die Walzwerksdisposition nach Abbildung 48 legt die Verwendung querlaufender Krane zur Bedienung der Öfen nahe. Die sichere Ausbildung der Magnete für kompakte Körper, wie sie selbst mehrere flach nebeneinanderliegende Blöcke darstellen, scheint hier den Zangenkran und seine Steuerung (Abbildung 60) mit Erfolg abzulösen; der Kran holt dann die Blöcke ab und legt sie unmittelbar auf eine Platte vor der Ofentür, von wo aus der Blockdrücker das eigentliche Chargieren übernimmt.

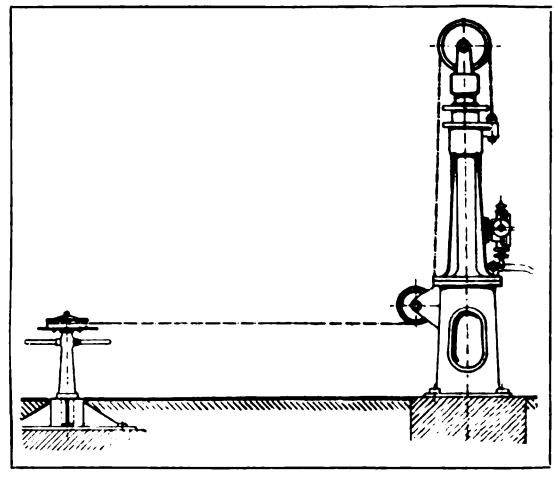


Abbildung 57. Einfacher Blockauszieher.

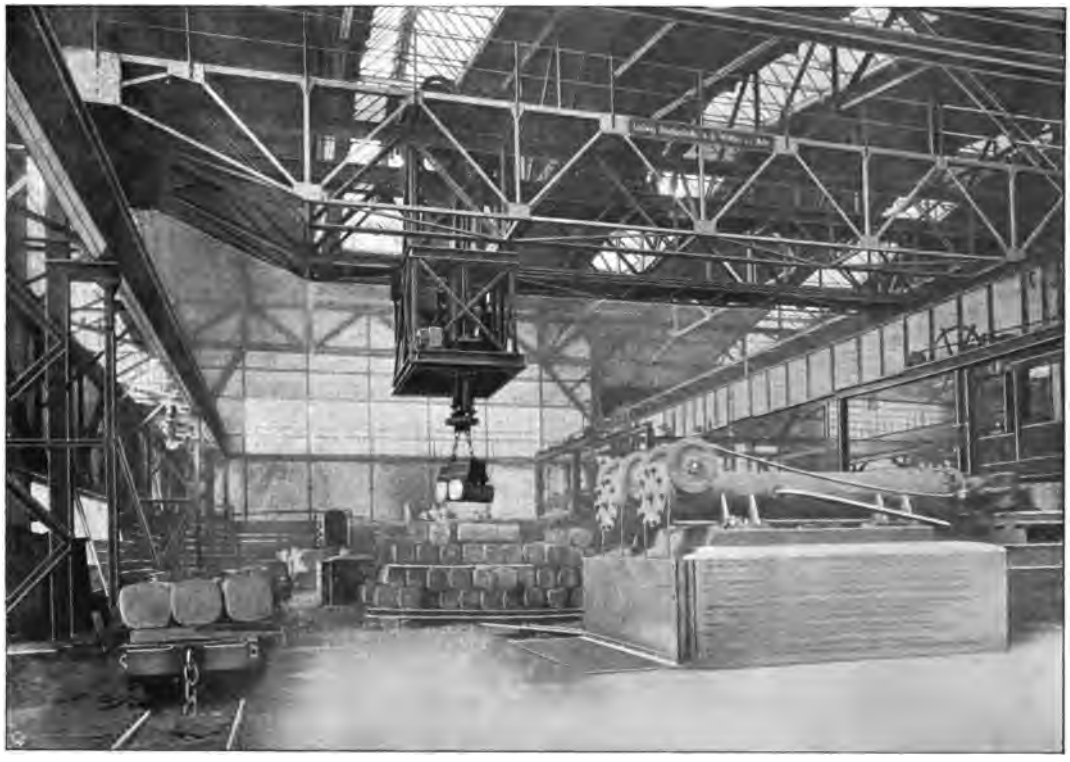


Abbildung 58. Ansicht eines hydraulischen Blockdrückers.

Für größere Profile vorgewalzter Blöcke wird auch für das Entnehmen derselben aus dem Ofen eine besondere Art von Kranen nötig, ebenso wie für das Einsetzen großer und vorgewalzter Brammen, welche nicht in Tieföfen erwärmt werden können, sondern liegende Herde verlangen. Das Aufnehmen oder Absetzen des liegenden Blockes bedingt eine Auslegerkonstruktion mit Zange; der Blockchargierkran erinnert deshalb an den Muldenchargierkran und kann in seinen wesentlichen Einzelheiten sich diesem anlehnen.

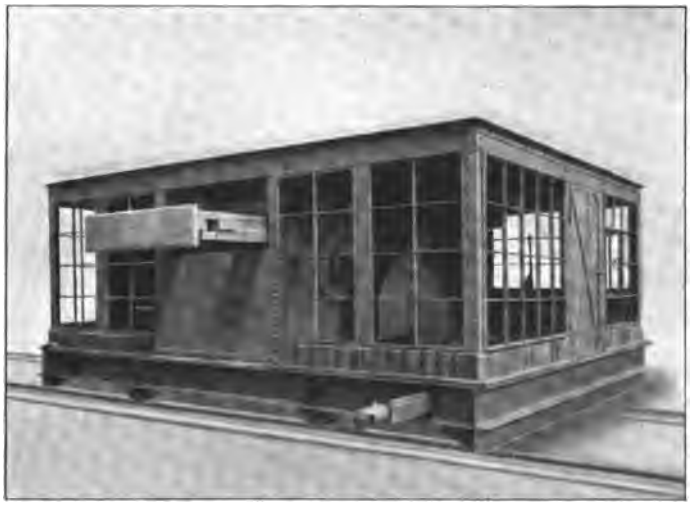


Abbildung 59. Ansicht eines fahrbaren Blockdrückers.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Dagegen wurden besondere Gesichtspunkte hinsichtlich der Zangenkonstruktion geschaffen. An sich scheint die Aufgabe einfach, eine Zange für das Erfassen horizontaler Blöcke auszubilden, jedoch sind dabei Einwirkungen auf den Ausleger durch die Ofenhitze zu

berücksichtigen. Günstig erscheint es für die Haltbarkeit des Auslegers, ihn durch seitliches Erfassen des Blockes kürzer zu machen und ihn im Betrieb ablegbar einzurichten, damit er langsam und gleichmäßig erkalten kann (Abbildung 61 u. 62). Noch günstiger und im ganzen Aufbau wesentlich einfacher aber müßte eine Konstruktion (Abbildung 63) sein, welche die Zange überhaupt nur wenig in den Ofen eintreten läßt, vielmehr Block oder Bramme durch das Eigengewicht derselben festhält. Allerdings müßte dabei im Ofen und auf dem Blocklager das Hochliegen der Blöcke vorgesehen sein, so daß die Zange von unten fassen kann, aber die Einfachheit der Konstruktion ist dafür augenfällig. Derartige Krankonstruktionen bringen auch im Walzwerk dieselben Vorteile wie im Stahlwerk; die Hüttensohle wird von Gleisen frei, die Zuführung der Blöcke kann von beliebiger Seite erfolgen, da der Ausleger schwenkbar ist, der Block selbst kann eventuell im Ofen gekantet werden, kurz, der Kran hat auch hier wieder das Universelle, sich allen möglichen Betriebsverhältnissen anpassen zu können. Aber die Blockeinsetzmaschine wird als Kran zu teuer, sobald mit der Belastung eine Grenze von 12—15 t überschritten wird. Hier ist wieder ein Feld, in welchem der Wagen nicht gut zu ersetzen sein wird, und wo er immer eine günstige Lösung bildet, wenn die Gesamtdisposition des Materialdurchganges von ihm nicht große Wege mit hoher Fahrgeschwindigkeit erzwingen will. Er wird also in einfacher Weise mit einem Kran zusammenarbeiten müssen, welcher ihm die Blöcke zubringt, während er selbst den Transport zwischen Ofen und Walzenstraßen übernimmt. Schon an dem alten Dampfwagen (Abbildung 64) war das Ausziehen der Blöcke aus dem Ofen außenliegenden besonderen Blockziehern abgenommen und den Wagen selbst übertragen worden, welche zu diesem Zwecke zwei seitliche Kettenrollen mit besonderem Antrieb erhielten. Die Blockhaken verlangten aber zu ihrer Bedienung immer noch Personal an der Ofentür, welches erspart werden konnte, wenn das Blockfassen ebenso wie das Eindrücken vom Kranmaschinisten allein zu steuern war. Die Einführung des elektrischen Betriebes brachte nun hier nicht sofort die bauliche Vereinfachung, welche gegenüber dem Dampfwagen zu erwarten war,

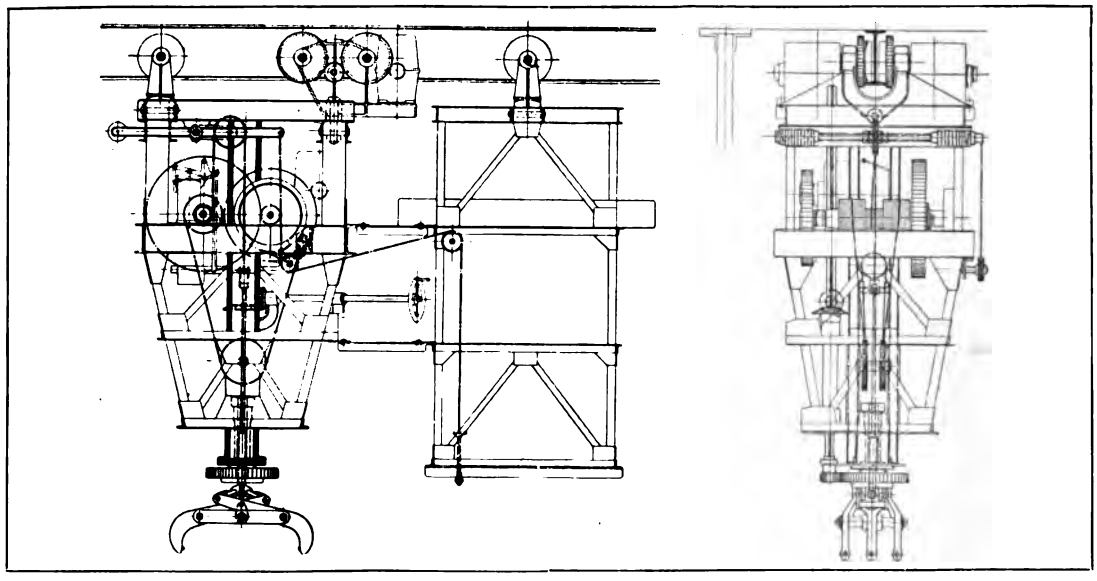


Abbildung 60. Blocktransportkatze.

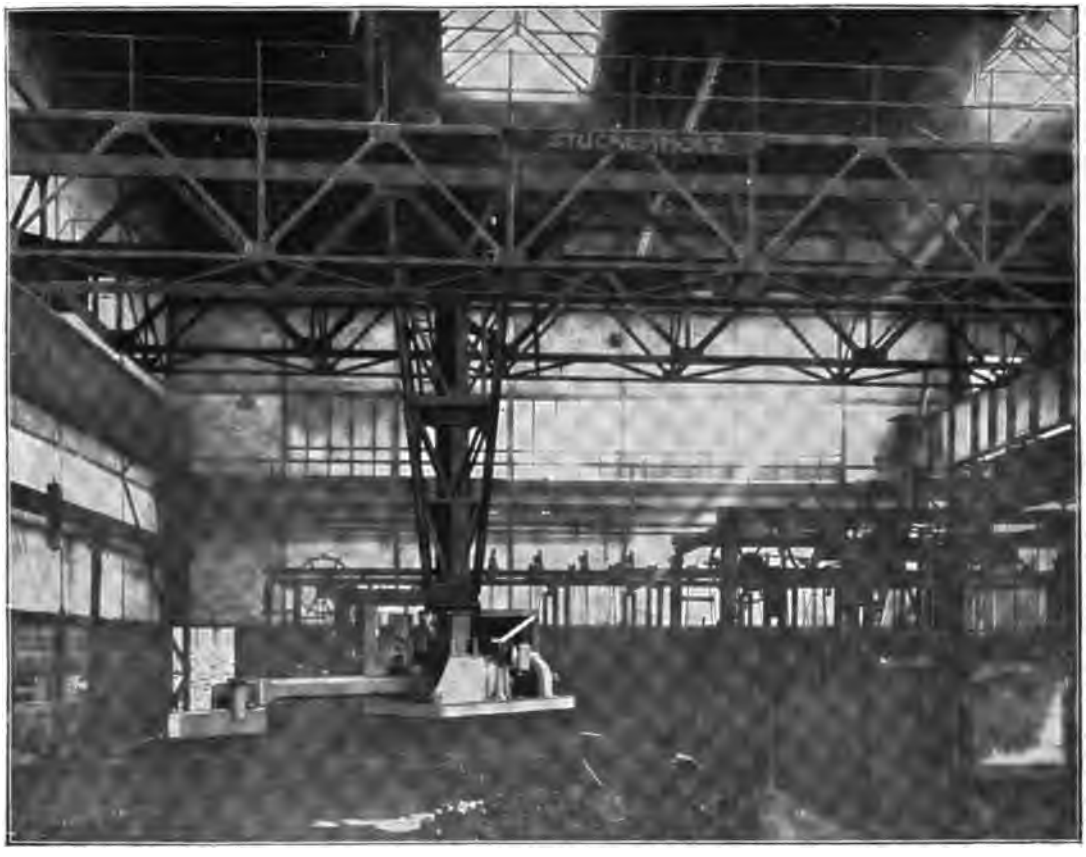


Abbildung 61. Blockeinsetzkran.

sondern ließ in den ersten Wagenformen Gedanken auftreten, welche heute direkt als Abwege erscheinen. Als solchen Umweg möchte man die Einführung der Aufhängung des ganzen Rolltischgerüstes samt seiner Ausbalanzierung an einer Säule bezeichnen (Abbildung 65); der verhältnismäßig geringe Radabstand im Wagengerüst, der auffallend schwere Aufbau geben dem Ganzen den Charakter der Übergangskonstruktion. Wenn trotzdem die Erfahrungen schon mit dieser Bauart günstige waren, so liegt das wohl daran, daß hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit nicht derartige Aufgaben zu erfüllen waren, wie sie etwa der elektrische Gießwagen zu bewältigen hatte. Universellere Formen zeigt Abbildung 66, in welcher auch das Blockausziehen durch eine Zange, anstatt durch einen Bügel, in bester Weise gelöst ist. Die Zange besitzt dabei eine Schildsteuerung, welche nach denselben Grundsätzen wirkt wie diejenige der Tiefofenkrane, und der Transport der Blöcke ist damit in einer Vollkommenheit, Geschwindigkeit und Sicherheit erreicht, wie es mit Menschenkraft allein niemals möglich geworden wäre.

* *
*

Die Blockstraßen haben, wie früher bereits erwähnt, die Aufgabe, neben energischer Verdichtung des heißen Rohblockes eine Erzeugung der verschiedenen Ausgangsprofile für die nachfolgenden Fertigstraßen zu übernehmen, bis etwa auf Pro-

file von 100 auf 100 mm herunter, und dadurch neben der Materialverbesserung auch eine weitgehende Entlastung des Stahlwerks zu übernehmen, welches ohne Zwischenschaltung von Blockstraßen die Lieferung zu stark verschiedenen Blockgrößen und Gewichte durchzuführen hätte: hinderlich sowohl großer Produktion als auch einheitlicher und gut auszunutzender Transportvorrichtungen. Aus der Überlegung heraus, daß somit eine einzige Blockstraße als Vorstufe für viele Fertigstraßen auftreten soll, ergeben sich die höchsten Anforderungen an die Einfachheit und Betriebssicherheit ihres gesamten Aufbaues, von der Antriebsmaschine ab bis zur letzten

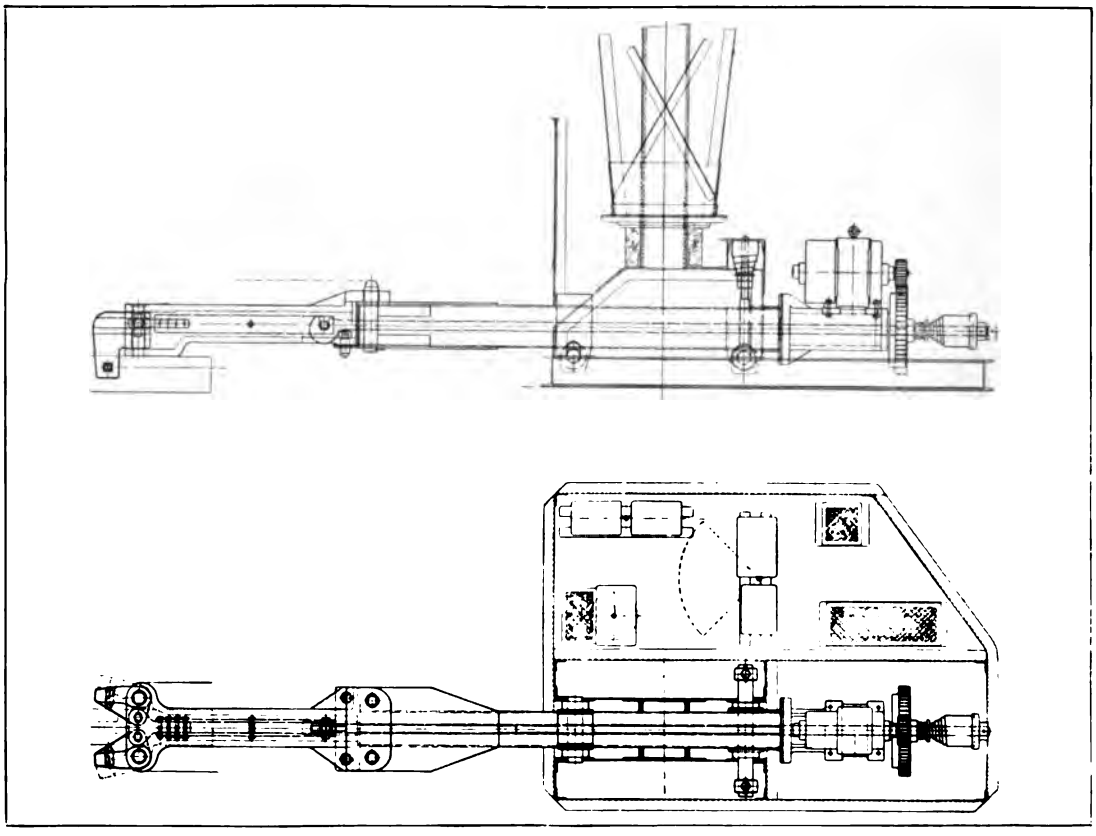


Abbildung 62. Blockeinsetzkran mit ablegbarem Ausleger. (D. R. P.)

Rollgangswalze vor den Blockscheren. In allen Teilen und besonders in den Organen, welche den schweren Block zu bedienen haben, muß die hohe Arbeitsgeschwindigkeit und große Verantwortlichkeit des Blockbetriebes berücksichtigt werden, und in der Blockstraße gerade treten deshalb die konstruktiven Anforderungen an Walzwerke überhaupt besonders klar in Erscheinung.

Die Bauart der Blockstraße ist grundsätzlich als Reversierduo oder -trio mit sogenannten offenen Kalibern möglich, d. h. die äußersten Durchmesser der Walzeneindrehungen überschneiden sich nicht gegenseitig, sondern lassen zwischen sich freien Spielraum, welcher also für den Stab die Ursache zu Gratbildungen werden kann; jedoch ergibt sich unverkennbar mit der zunehmenden Größe der Blockgewichte eine bestimmte Grenze für den Verwendungsbereich des mit konstantem Umlaufsinn und in zwei Walzebenen arbeitenden Trios.

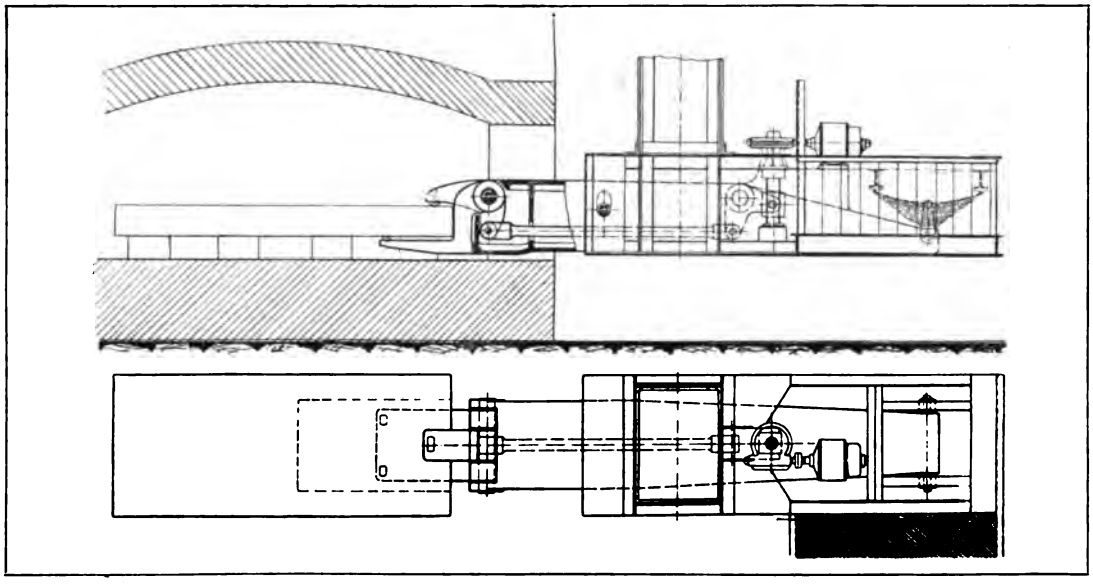


Abbildung 63. Zange eines Blockeinsetzkranes.

An sich sind es einfache konstruktive Überlegungen, welche für den Bau der Einzelheiten von Blockstraßen maßgebend sind und die heutigen Formen bestimmt haben. Bezüglich des Walzenständers und seiner Lagerung ist zunächst zu berücksichtigen, daß der Arbeitsvorgang selbst die rohesten Beanspruchungen mit sich bringt,

Abbildung 64. Blockeinsetzwagen mit Dampfantrieb.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

welchen maschinentechnische Konstruktionen ausgesetzt werden können. Die enormen Beschleunigungskräfte, welche beim Erfassen und Freigeben des Blockes und während des eigentlichen Durchwalzens bei periodischen Veränderungen der Umdrehungsgeschwindigkeiten auftreten, bedeuten ein Pendeln großer Kräfte zwischen Antriebsmaschine und Walzwerk, deren Charakter bei ungenügendem Kräfteschluß ein immer ungünstigerer werden muß. Zwischen den Walzen selbst entstehen Vertikalkräfte, deren Größe von Querschnittabnahme und Walztemperatur des Stabes in der Hauptsache abhängen; die im Betrieb unvermeidlichen Verschiedenheiten dieser beiden Faktoren bedingen aber eine außerordentliche Unsicherheit für den Konstrukteur und zwingen zu schwersten Ausführungsformen. An Hand eines Vergleiches alter und neuer Bauarten (Abbildung 67 u. 68) lassen sich die ersten hieraus zu ziehenden Schlüsse erkennen. Die schweren Stöße des Walzbetriebes sollen offenbar möglichst auf das Walzgerüst selbst beschränkt bleiben; dieses ist deshalb auch auf möglichst hohen, in sich geschlossenen Rahmen frei zu lagern und stark zu befestigen. Eine Verbindung dieses Fundamentrahmens mit dem Antrieb der Walzen müßte Stöße auf Konstruktionsteile verursachen, welche davon unbedingt freizuhalten sind, und sie wird deshalb besser unterbleiben. Im Gerüst (Abbildung 69 u. 70) nehmen hohe Querschnitte der oben und unten geschlossenen Ständer die für gegossenes Material ohnehin ungünstigen Biegungsbeanspruchungen auf, und starre Gußbalken mit großen Auflageflächen schließen an Stelle dünner Rohre den starren Aufbau der beiden Gerüsthälften. Die Lagerung der Walzen geschieht in seitlich und nach oben ausbaubaren „Einbaustücken", einer besonderen Eigenart der Walzwerke, auf einzelnen seitlich und achsial verstellbaren Lagerbacken, zwischen welchen Schmierung

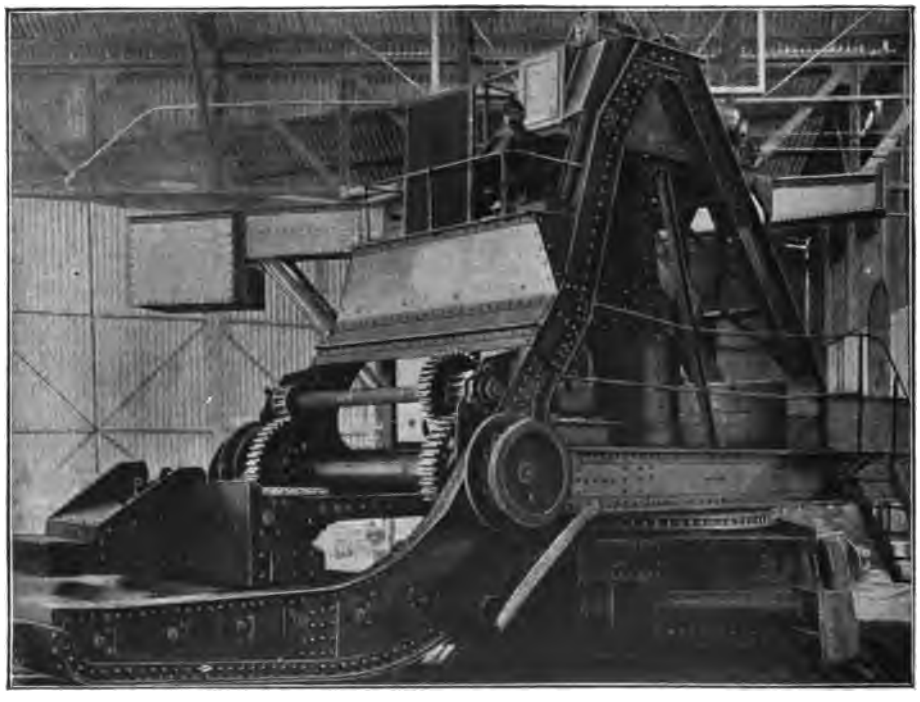


Abbildung 65. Ansicht eines Blockeinsetzwagens mit elektrischem Antrieb. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Walzwerk in „Rote Erde“ bei Aachen.

Zu Stauber: Die Verarbeitung des schmiedbaren Eisens im Hüttenbetriebe.

Tafel II.

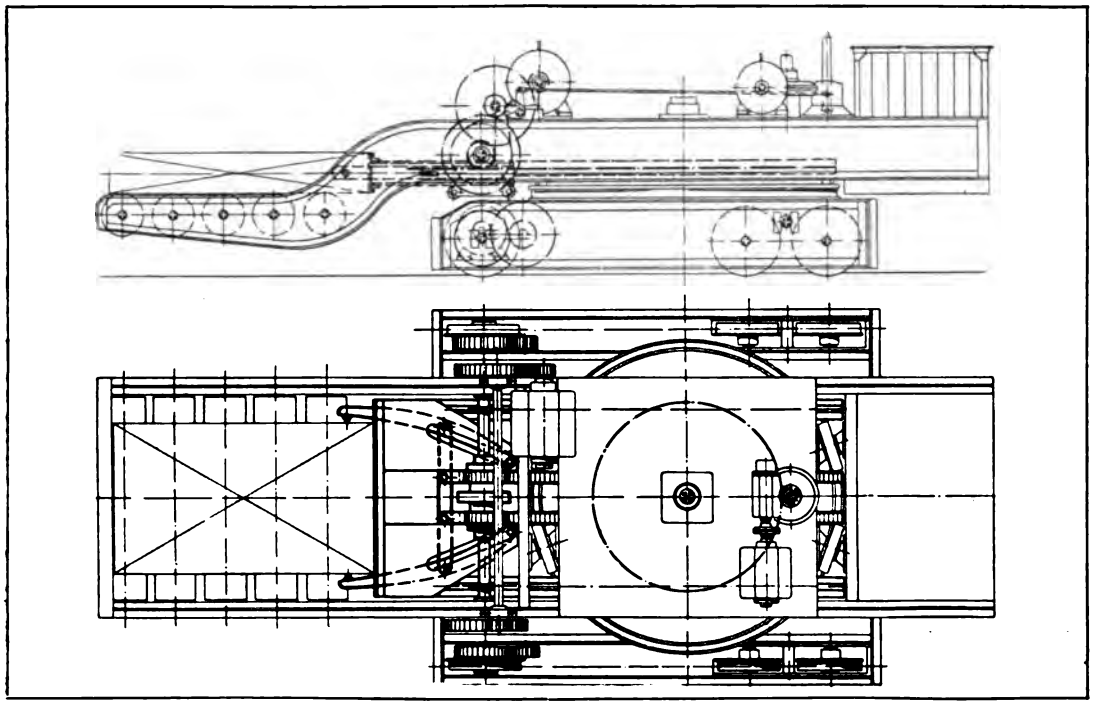


Abbildung 66. Blockeinsetzwagen mit Blockzange.

und Kühlung mit Speck und Wasser möglich ist. Die Konstruktion normaler geschlossener Lager, in welchen bei genügend großen Lagerflächen eventuell mit innerer Kühlung eine zuverlässige Schmierung neben dem Schutz der Lagerfläche gegen Walzsinter möglich wäre, hat sich bis heute an dieser Stelle noch nicht eingeführt.

Da das Blockduogerüst zur Erweiterung der Kalibrierungsmöglichkeiten in der einzigen vorhandenen Walzebene mit einer veränderlichen Entfernung seiner beiden Walzen arbeiten muß, ist am Gerüst eine Anstellvorrichtung nötig, welche gegen den ständigen Gegendruck einer Entlastung die Verstellung der Oberwalze nach unten durch Schraubenspindeln ermöglicht; die Entlastungsvorrichtung sichert dabei den Rückzug beim entgegengesetzten Bewegungssinn dieser Spindeln. Hierbei ist der ältere umständliche Preßwasserantrieb durch den elektrischen verdrängt, die Entlastung mittels untenliegender Gegengewichte mit Rücksicht auf deren Massenwirkung bei schneller Verstellung durch Preßwasser ersetzt; die Anordnung solcher hydraulischen Entlastungen oberhalb der Walzen schützt diese empfindlichen Teile vor Walzzunder und macht die Stopfbüchsen ihrer Zylinder zugänglich. Ein Brechtopf endlich zwischen Anstellspindel und oberem Einbaustück soll eine Überlastung der Gerüste über bestimmte maximale Vertikalkräfte hinaus verhindern.

Im eigentlichen Gerüstaufbau wäre für die Blockstraße das Trio zweifellos einfacher (Abbildung 71); gegenüber einer festgelagerten Mittelwalze werden hier nur für eine erstmalige Einstellung der oberen und unteren Walze besondere Verstellvorrichtungen nötig. Die Oberwalze kann dabei an Federn aufgehängt sein, eine Entlastung und verstellbare Anstellung entfällt und mit ihnen eine ganze Reihe baulicher Schwierigkeiten. Aber das Trio hat in zwei Walzebenen zu arbeiten, während das universellere reversierbare Duo nur eine Walzebene zu beherrschen braucht,

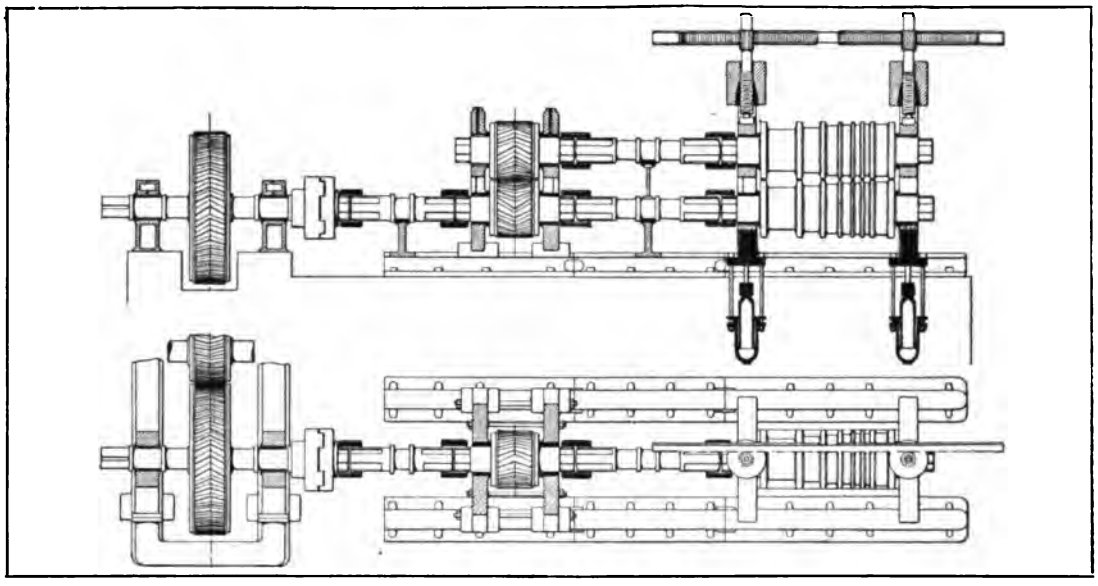


Abbildung 67. Alte Blockstraßenanordnung.

und damit müssen die Vorrichtungen zur Bewegung des Walzgutes bei einem gewissen Blockgewicht die Wahl des Systems bestimmen.

Beim Reversierduo besteht diese Blockbewegung in einem Zuführen des Blockes vor das erste Kaliber, in wiederholtem Durchwalzen bei mehr und mehr angestellter Oberwalze, in einem Wenden des Blockes um 90° und der Wiederholung des ganzen Vorganges in den nachfolgenden Durchgängen. Hohe Erzeugungsfähigkeit setzt dabei voraus: ruhiges und absolut sicheres Erfassen des Blockes durch die Walzen, schnelles Durchwalzen mit rechtzeitigem Bremsen des Auslaufes, kürzestes Zurückführen des Blockes zum nächsten Stich und so fort. Diesen Bewegungsaufgaben kann Handbedienung natürlich nicht mehr entsprechen; vielmehr werden zu beiden Seiten des

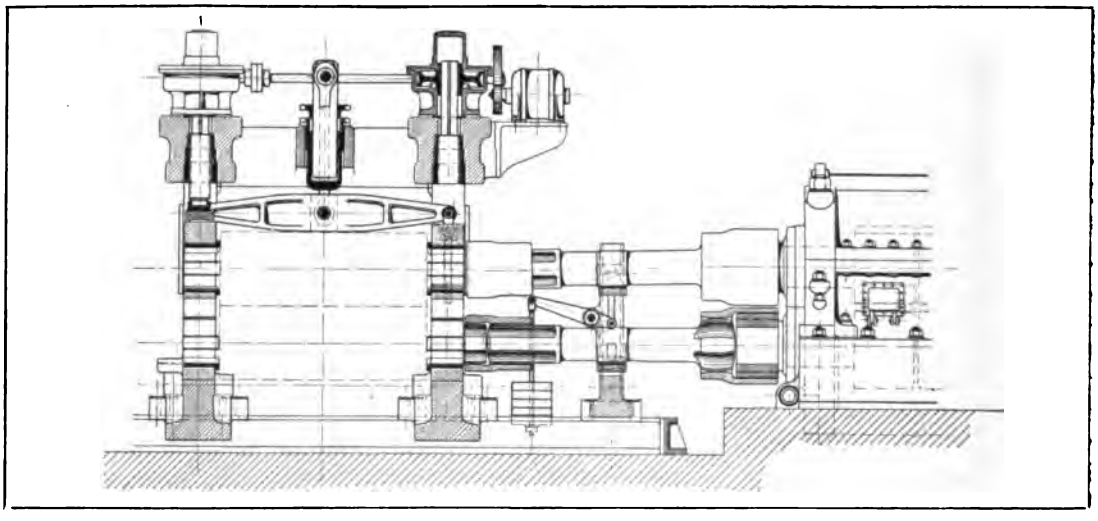


Abbildung 68. Neuere Blockstraßenanordnung.

Gerüstes Arbeitsrollgänge und Kantapparate nötig, Hilfsmittel, bei welchen die hohen Anforderungen an Betriebssicherheit recht klare Forderungen bezüglich Anordnung und Konstruktion festlegen. Die Rollen, welche aus dem Bodenbelag herausragen (Abbildung 70), müssen zunächst, mit Rücksicht auf rascheres Reversieren mit geringsten Massenwirkungen, unnötige Gewichte bei einfachster Bauart ihres Antriebes vermeiden. Für die meisten Ausführungen wird der Einzelantrieb dieser Rollen durch Kegelräder verwendet werden können, wobei die Rollen mit Rücksicht auf gute Eingriffsverhältnisse in starren hohen Rahmen gelagert sein müssen und die sämtlichen Lager im Interesse guter Instandhaltung über Flur angeordnet sein sollen, anstatt unter Abdeckplatten, welche sie völlig unzugänglich machen. Gruppenweiser direkter Antrieb durch reversierbare Elektromotore ergibt dabei nur rotierende, gut schmierbare Elemente, welche normalen Anforderungen durchaus gerecht werden können; in speziellen Fällen, wo sehr eng liegende Rollen

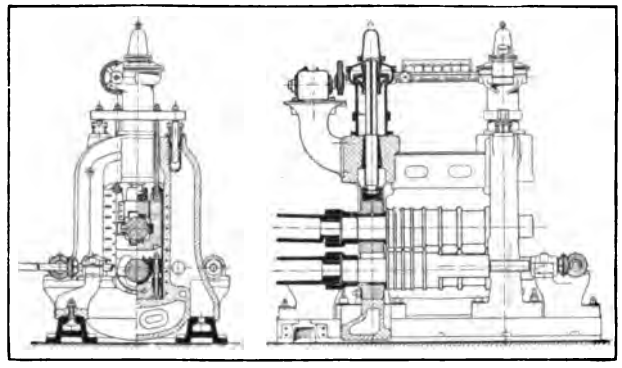


Abbildung 69. Blockwalzwerk.

Abbildung 70. Ansicht eines Blockduogerüstes.

anzutreiben sind, könnte wohl auch Gruppenantrieb durch Schubstangen (Abbildung 72) Vorteile bringen, wenn auch die vielen gelenkigen Schubstangen neben den Schwierigkeiten bezüglich selbsttätiger Schmierung unerwünschte Massenwirkungen beim Reversierbetrieb ergeben würden.

Die Aufgaben des seitlichen Verschiebens kurzer Blöcke auf den Rollen sowie des Kantens sind, um nur eine Möglichkeit anzuführen, z. B. mit einem Apparat nach

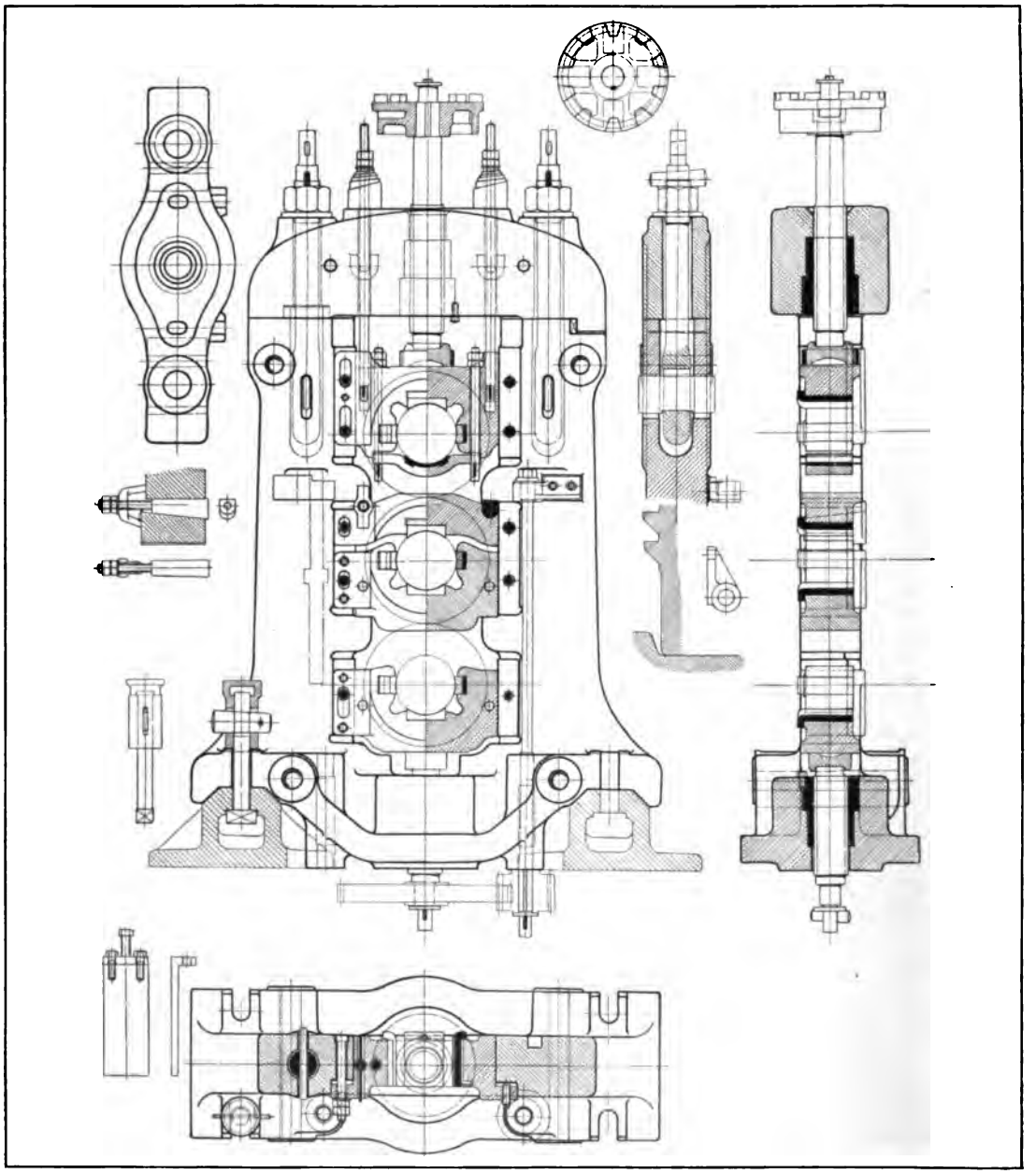


Abbildung 71. Blocktriogerüst.

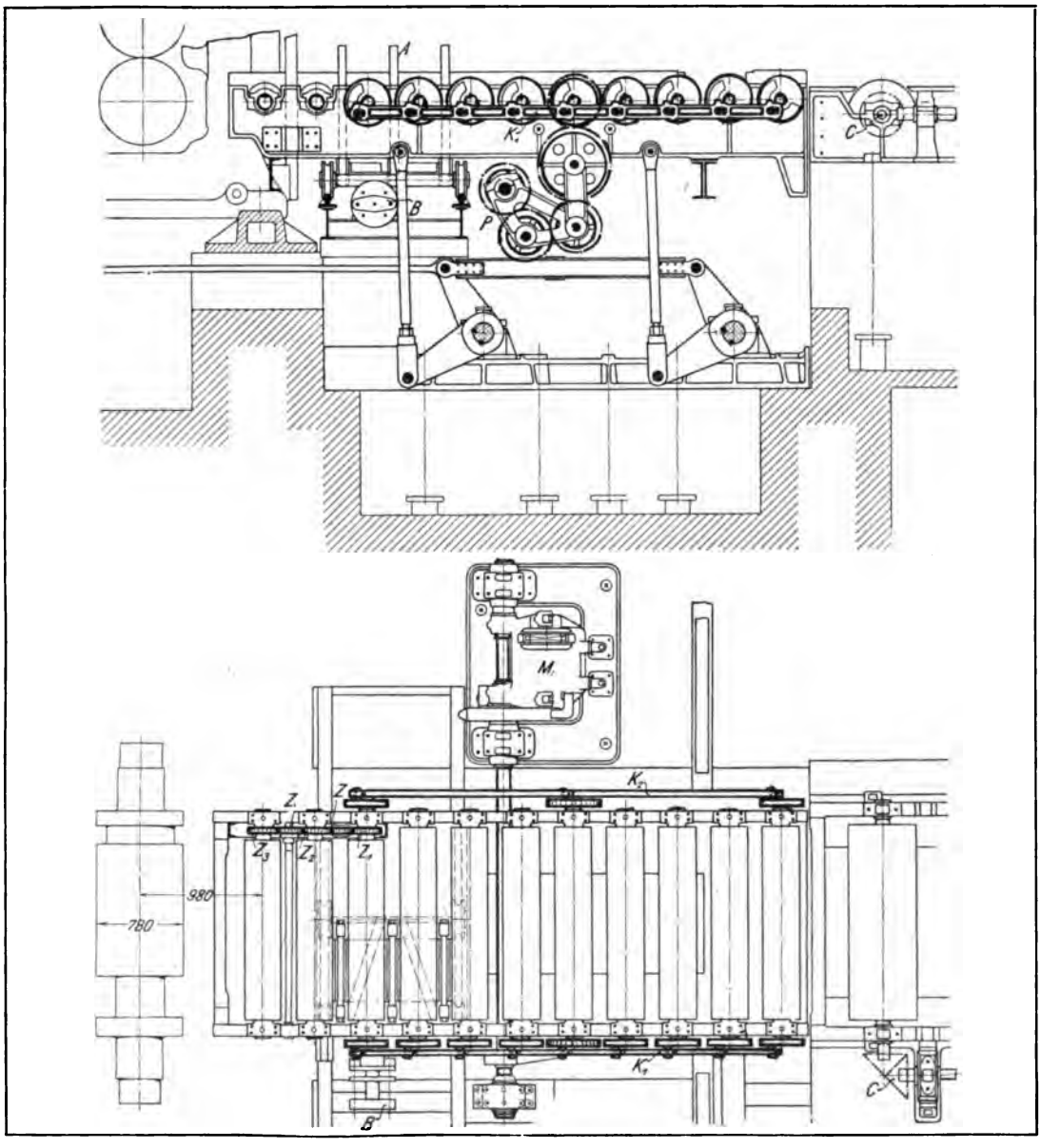


Abbildung 72. Hebetisch mit Kantvorrichtung. Rollgang mit Schubstangenantrieb.

Abbildung 73 zu lösen. Die stationäre Anlage läßt hier Preßwasser als Betriebsmittel zu, und die Anordnung der Zylinder über Flur bringt den ganzen Apparat aus dem Bereich des Walzsinters und läßt seine Stopfbüchsen zugänglich, womit allerdings anderseits großer Raumbedarf über Flur benötigt wird. Aber die Blockkantung ist hiernach durch die Bewegung zweier schräger Flächen gegeneinander, welche den Block zwischen sich belassen und auf ihren Flanken zur Schräglage bringen, in sehr einfacher Weise mit dem Rückzug des einen Systems durchzuführen, ebenso wie das Verschieben des Blockes in Hochkantstellung von einem Kaliber zum andern.

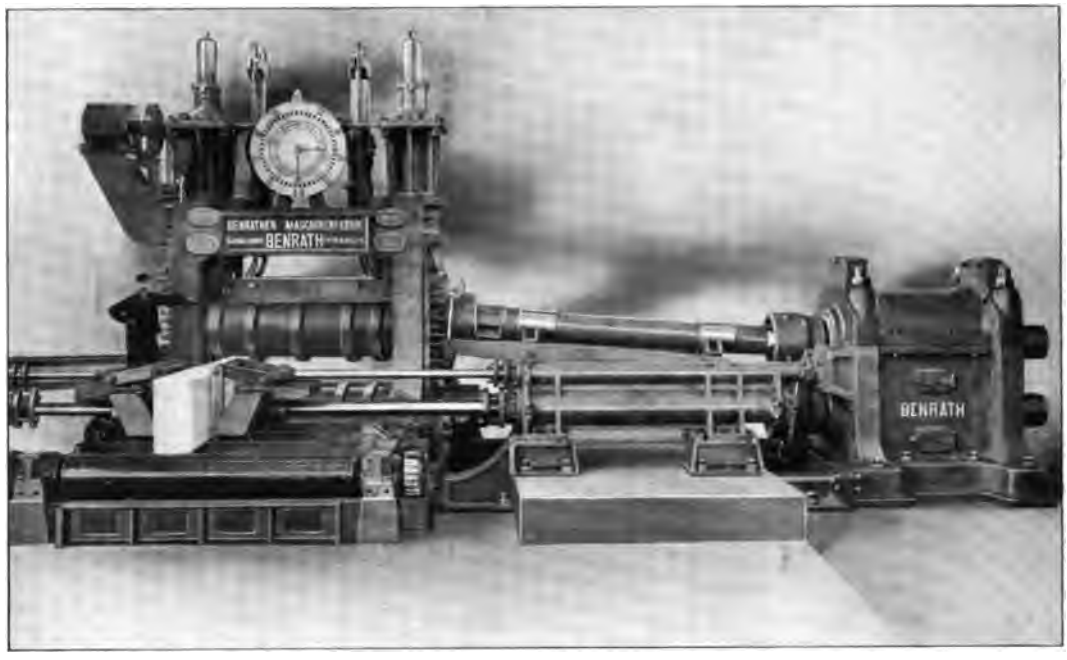


Abbildung 73. Ansicht eines Blockgerüstes mit Kantapparat. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Beim Reversierwalzwerk werden diese Konstruktionen immerhin vereinfacht durch die Möglichkeit stationärer Lagerung; das Walzen geschieht in einer und derselben Ebene, die schweren Rollenrahmen können solide Lagerung auf dem Fundament erhalten. Beim Trio dagegen (Abbild. 74) sind diese Rahmen beweglich zu machen, um den Block von einer Ebene zur anderen heben zu können. Allerdings kann dabei das Kanten ohne weiteres durch verschiebbare Daumen auf seitlich angetriebenen Wagen bewirkt werden, welche unterhalb des niedergehenden Blockes verfahren werden und ihn zum Kippen veranlassen; aber die „Hebetische", zu welchen jetzt die Rollgänge geworden sind, erfordern die sorgfältigste konstruktive Behandlung. Ihre Entlastung muß möglichst massefrei mit Preßwasser durchgeführt werden, die Tische selbst bedürfen mit Rücksicht auf die Stopfbüchsen einer sicheren Parallelführung, und der Antrieb durch Preßwasser oder vom Elektro-

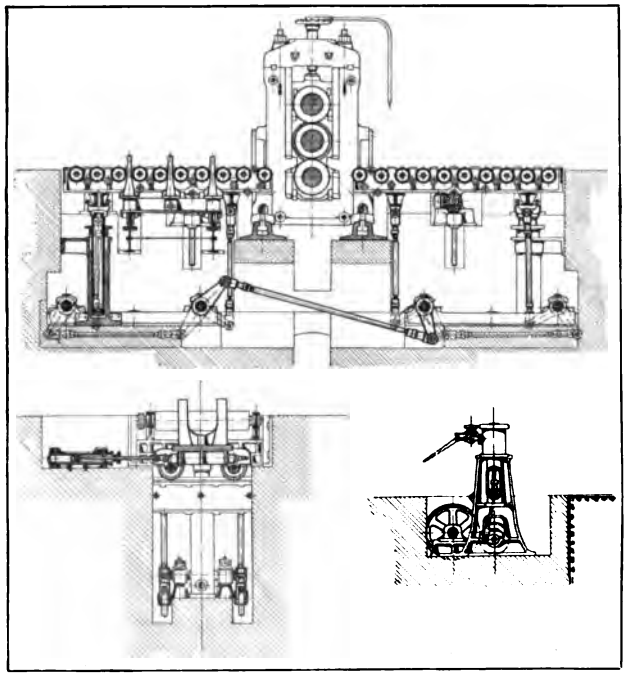


Abbildung 74. Blocktrio mit Hebetisch.

motor hat rasche Bewegungen und sicheres Halten in den Endlagen zu bewirken. Somit würde schon zunächst für die großen Blockgewichte die schwere und teure Konstruktion der beiderseitigen Hebetische ein zwingender Grund dafür, zum Blocken nur Reversierduos zu verwenden; dann aber kann logisch die gewollte hohe Produktion mit den entsprechend großen Walzgeschwindigkeiten nur beim Reversierwalzwerk erreicht werden, bei welchem langsames, sicheres Erfassen und kurzer Auslauf unabhängig von schnellem Durchwalzen ist. Beim Trio wird dagegen der Antrieb durch Schwungradmaschinen zu Schwierigkeiten führen müssen; sollte nämlich flott gewalzt werden, so müßten hohe Walzgeschwindigkeiten gewählt werden, welche aber zunächst das Erfassen des Blockes erschweren, dann aber auch den austretenden Block mit zu großer Endgeschwindigkeit auf den Rollgang hinausschleudern würden. Somit läßt sich der Verwendungsbereich der beiden Bauarten, Duo oder Trio, klar festlegen; das Reversierduo gleicht durch seine Anstellbarkeit der Oberwalze den sonst empfindlichen Nachteil gegenüber dem Trio aus, nur eine Ebene für die Aufnahme

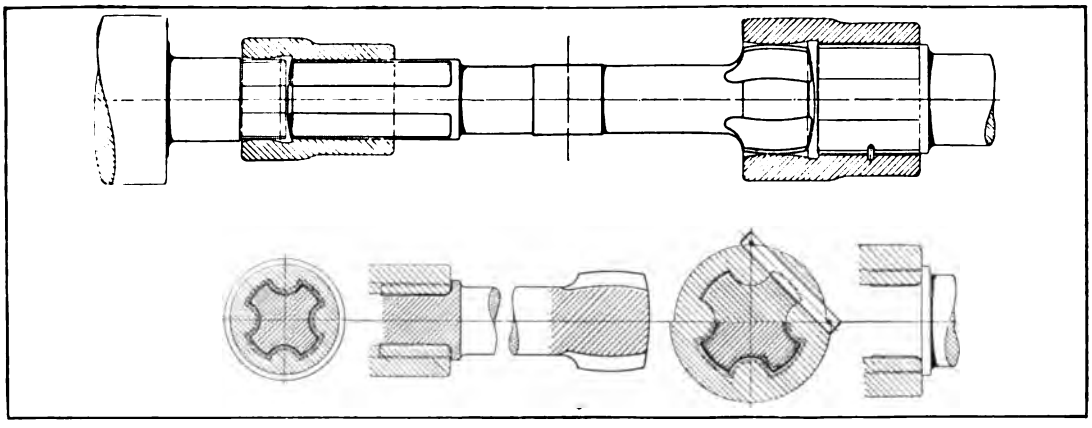


Abbildung 75. Klauenkuppelung.

von Kalibern zu besitzen; den wirtschaftlich ungünstigeren Reversierantrieb nimmt es in Kauf gegenüber hoher Produktion bei schweren Profilen, welche an sich, wie hier bei der Blockstraße, das Walzen in nur einem einzigen Gerüst gestatten. Das Trio könnte dagegen wegen des konstanten Umlaufsinnes zwar in Mehr-Gerüstanordnungen in zwei Gerüsten gleichzeitig arbeiten, aber beim Blocken kommt solcher Betrieb nicht in Frage, das Trio wäre logisch an falscher Stelle. Diese Überlegung läßt auch erkennen, daß der Antrieb eines Blocktrios durch schwungradlose Maschinen wohl ähnlichen Betrieb wie das Reversierduo ermöglicht, d. h. langsames Erfassen, rasches Durchziehen, kurzen Auslauf mit Benutzung der eigenen Massenwirkung, daß aber in solcher Anordnung eine unglückliche Kombination die Nachteile beider Systeme vereinigt, nämlich die schweren Hebetischkonstruktionen des Trios mit dem wirtschaftlich ungünstigeren Antrieb der schwungradlosen Maschine.

Ebenso typische Konstruktionen wie im Gerüstaufbau ergeben sich für den Antrieb der Walzen, und zwar Formen, welche im übrigen Maschinenbau nach heutiger Erkenntnis unmöglich wären, bei den Walzwerken jedoch von den eigenartig rohen Betriebsverhältnissen noch verlangt werden. Zu einer Zeit, in welcher der Kraft- und Arbeitsmaschinenbau schon weit entwickelt war, erhielt das Duoblockwalzwerk noch eine Anordnung nach Abbildung 67. Der gesonderte Antrieb der beiden

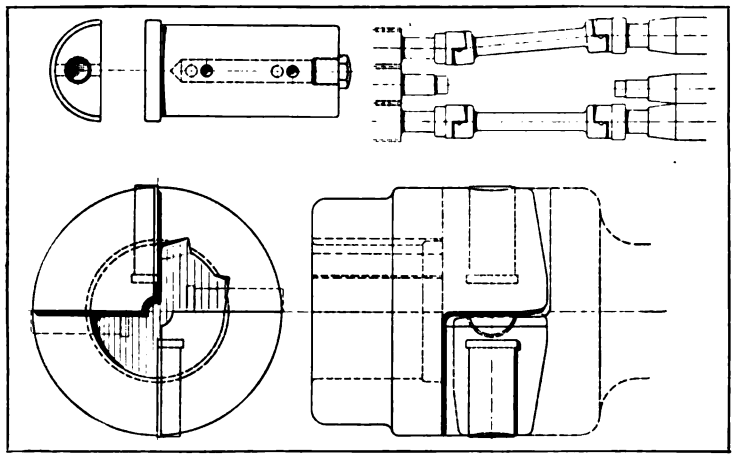


Abbildung 76. Kreuzgelenk-Klauenkuppelung.

Walzen ist durch große Zahnräder („Kammwalzen") bewirkt, welche also zwischen der eigentlichen Antriebsmaschine und dem Walzgerüst sich einfügen, und es hätte maschinentechnischem Empfinden naheliegen sollen, diese Kammwalzen noch zum Antrieb zu rechnen, welcher gegen die unvermeidlichen Stöße und Erschütterungen des Walzgerüstes zu sichern war; es hätte ganz besonders an die riesigen Energieverluste gedacht werden sollen, welche ein ungünstiger Zahnradantrieb veranlassen mußte. Statt dessen hat man die Kammwalzen auf demselben Rahmen untergebracht, welcher auch die Stöße des Walzgerüstes aufzunehmen hat, die Zahnräder an sich mit unbearbeiteten, zu schmalen Zähnen in getrennten Gerüsten schlecht gelagert und dem primitiven Charakter dieser Gesamtanordnungen noch in beweglicher Kuppelung der einzelnen Teile Rechnung getragen (Abbildung 75); Überwurfmuffen und Klauen, von vornherein mit reichlichem gegenseitigem Spiel versehen, bilden noch heute fast ausschließlich die Elemente dieser Kuppelungen. Außerordentlicher Verschleiß aller beanspruchten Teile in diesem Zusammenbau muß die Folge solcher Verstöße gegen maschinentechnische Grundsätze sein. Die neuesten Anordnungen zeigen in dieser Beziehung bereits gründlichen Wandel. Der feste und starre Einbau des Kammwalzgerüstes in den Rahmen der Antriebsmaschine läßt zunächst die Zahl beweglicher Verbindungsteile auf ein geringstes Maß beschränken; im geschlossenen Kammwalzgerüst ist ruhige Lagerung mit genügend geringen Auflagedrücken und selbsttätiger reichlicher Schmierung durchgeführt, breiten bearbeiteten Zähnen dadurch dauernd günstiger Eingriff gewährleistet. Die Klauenkuppelung mit ihrem im Reversierantrieb besonders fehlerhaften Spiel kann wohl durch eine Gelenkbolzenkuppelung (Abbildung 76) ersetzt werden, und eine Schalenbefestigung durch Sprengring (Abbildung 77) sichert den Maschinenrahmen gegen die großen Achsialdrücke, welche in den Verbindungsspindeln bei Walzenbrüchen auftreten müssen.

* * *

Diese allgemeinen Gesichtspunkte bezüglich der Bauarten der Blockstraßen und ihrer Antriebe finden sinngemäße Anwendung auch für die Fertigstraßen. Das Walzprogramm jeder Straße bestimmt dabei jeweils Walzendurchmesser

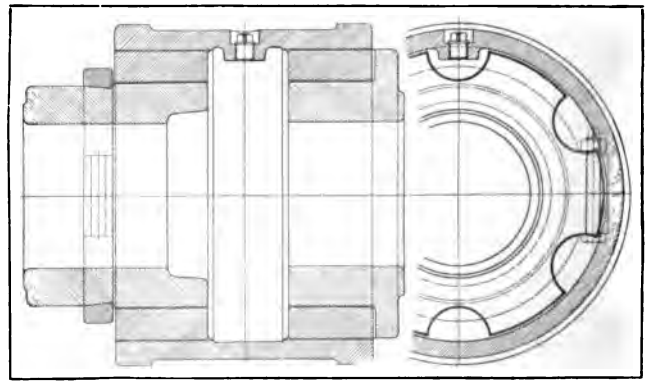


Abbildung 77. Orthmann-Kuppelung.

und Walzgeschwindigkeit, aus der Kalibrierung legt sich die Anzahl der Stiche und damit der nebeneinanderliegenden, gemeinsam angetriebenen Gerüste einer Straße fest, und in der Gerüstform muß dem Umfange des Walzprogramms Rechnung getragen werden durch Ermöglichung raschesten Walzenwechsels, eventuell sogar durch Reservestellung kompletter Gerüste, welche samt der vorher eingelegten Walze bei veränderter Produktion in kürzester Zeit auf die Fundamente eingebaut werden können. Die Frage, wie weit dabei Duo oder Trio als Typ benutzt werden kann, wird auch hier durch Rücksichten auf Handhabung des Walzgutes und flotteste Produktion entschieden. Bei den schweren Fertigstraßen wird meistens das Stabgewicht noch so groß sein, daß ein Triowalzwerk schwere Tischkonstruktionen neben zu sehr beschränkter Walzgeschwindigkeit vorsehen müßte, während des großen Kraftverbrauchs wegen ein gleichzeitiges Walzen an mehreren Gerüsten vielfach doch nicht beabsichtigt sein kann. Hier ist dann das reversierbare Duo dem Trio noch überlegen, ebenso wie etwa für eine selbständige Knüppelstraße, welche hohe Produktion neben geringsten Selbstkosten aufweisen muß. Beim Übergang zu mittelschweren Straßen bekommt jedoch das Trio immer mehr Überlegenheit über das Duo, da die Schwierigkeiten bezüglich der Handhabung des Walzgutes in wachsendem Maße zurücktreten. Der kleinere Ausgangsblock gestattet dabei sowohl höhere Umlaufzahl, unbeschadet sicheren Erfassens durch die Walzen, als auch gleichzeitiges Walzen in mehreren Gerüsten.

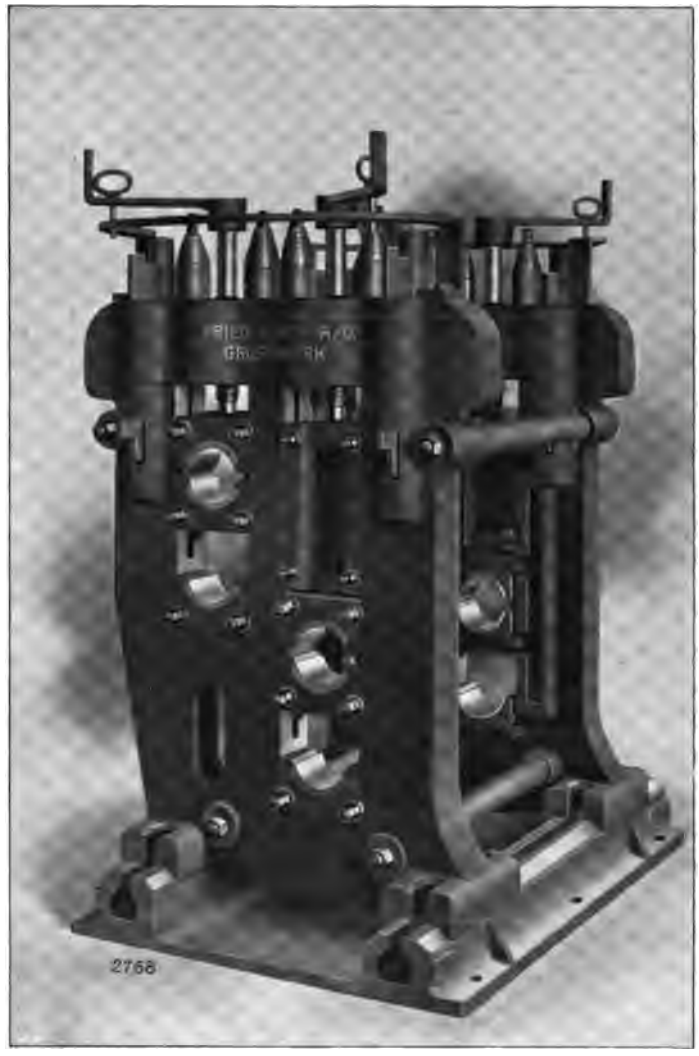


Abbildung 78. Ansicht eines Doppelduogerüstes.
Friedrich Krupp A.-G. Grusonwerk, Magdeburg-Buckau.

Besondere Eigentümlichkeiten des Aufbaues entstehen nur durch steigende Rücksicht auf exaktes Walzen und ständig erhöhte Walzgeschwindigkeit. Exaktes Walzen verlangt natürlich vor allem möglichst starres Gerüst mit Vermeidung nachgiebiger Zwischenglieder im Kräfteschluß; die Abbildung 71 zeigt gut zugängliche

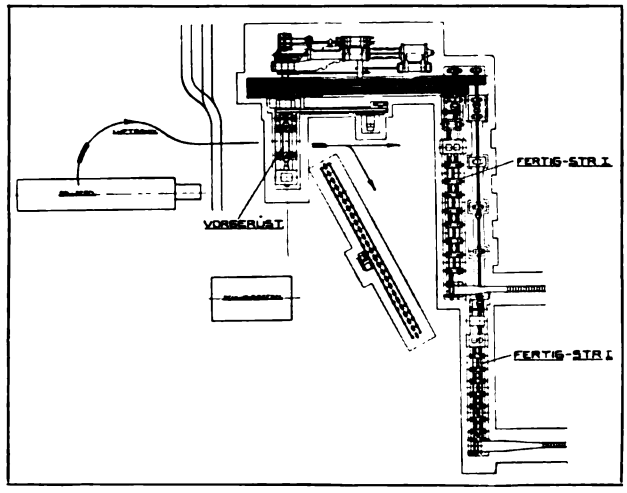


Abbildung 79. Schema einer Fertigstraße mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Einstellvorrichtungen für die Walzenentfernungen neben der nötigen Sicherung des Gerüstes durch Brechtöpfe, sowohl an der oberen als auch unteren Walze; kräftige Verbindungen der beiden Gerüsthälften geben ein so hohes Maß von Starrheit, als es in getrennten Gerüsten überhaupt erreichbar erscheint. Je kleiner aber das Walzprofil wird, desto länger wird der Walzstab, und desto länger würde eine Walzpause werden, wenn mit dem Walzen im nächsten Stich gewartet werden müßte bis zum beendeten Auslauf aus dem vorhergehenden Kaliber. Im Interesse hoher Produktion wird also für einfache Profile sofortiges Umstecken nach dem Austreten des Stabes von einem Stich zum andern nötig, d. h. gleichzeitiges Bearbeiten ein und desselben Stabes in mehreren Kalibern. Findet dies im nämlichen Gerüst noch statt, so muß die ungleiche Gerüstdehnung beim Freiwerden der einen oder anderen Walzebene zu verändertem Walzenabstand in der noch besetzten Walzebene führen, und diese Erscheinung, welche durch noch so starke Konstruktion des Gerüstes nicht vermieden werden kann, wird bei kleinen Profilen immer empfindlicher. Die völlige Trennung der beiden Walzebenen im Doppelduogerüst (Abbildung 78) kann diesem Übelstand abhelfen. Unabhängig davon verlangt die erhöhte Produktionsfähigkeit immer höhere Walzgeschwindigkeiten, je kleiner das Profil und je länger der einzelne Stab wird. Dem entspricht, um nur ein charakteristisches Beispiel zu wählen, eine Trennung der Antriebe in einzelnen Gruppen der Walzenstraßen (Abbildung 79). Von einem einzigen Walzengerüst mit geringster Umlaufzahl kann der Walzstab zu mehreren Fertigstrecken geleitet werden, welche verschiedene und steigende Geschwindigkeiten erhalten; Hand in Hand mit geeigneter Kalibrierung kann hierbei weitgehenden Anforderungen an Massenfabrikation entsprochen werden. Wird diese endlich so weit getrieben, daß nicht nur ein Stab, sondern sogar mehrere in den letzten Gerüsten der Fertigstraße gleichzeitig gewalzt werden müssen, so ermöglicht die Hintereinanderschaltung einzelner Vorgerüste mit wenigen Kalibern Höchstproduktionen bei völlig kontinuierlichem Betrieb (Abbild. 80). Während aber bei nebeneinanderliegenden Gerüsten ein gleichzeitiges Walzen an ein und demselben Stab mit Schleifen möglich wird, in welchen sich Differenzen in den Aus- und Eintrittsgeschwindigkeiten desselben Stabes an aufeinanderfolgenden Bearbeitungsstellen aus-

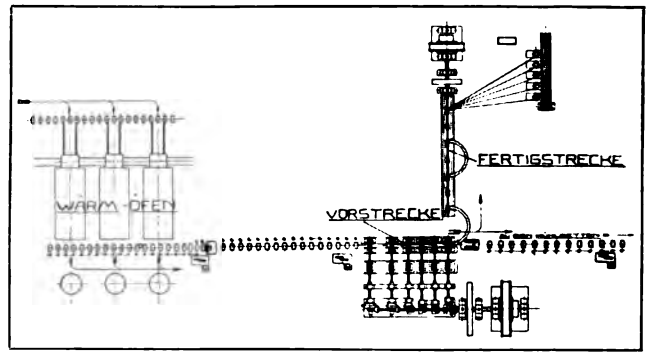


Abbildung 80. Kontinuierliche Vorstrecke.

gleichen können, ist dies bei hintereinanderliegenden Gerüsten nicht mehr denkbar und deshalb besondere Sorgfalt in der Bemessung der verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten der Walzen zueinander geboten. Der Einzelantrieb desselben bringt Hand in Hand mit der hohen Gerüstzahl hohe Anschaffungs- und Betriebskosten, welche nur bei ständig hoher Produktion gedeckt werden können. Sind solche Straßen aber schlecht ausgenutzt, so bedeuten sie ein schlagendes Beispiel dafür, daß das Be-

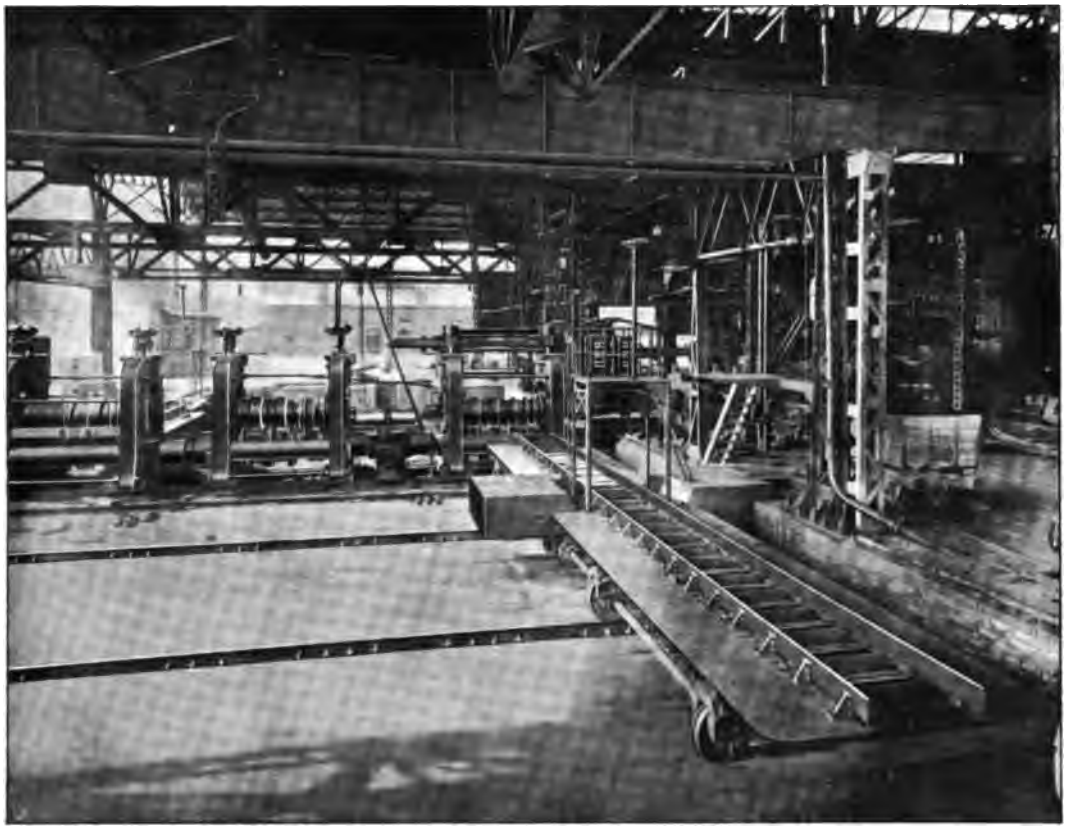


Abbildung 81. Ansicht einer Duostraße mit fahrbarem Rollgang.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

streben nach Spezialisierung der Fabrikation auch unter die Grenze der Wirtschaftlichkeit führen kann.

In gleicher Weise wie Form und Anordnung der Gerüste ändern sich mit dem Walzprogramm der Straßen auch die Vorrichtungen zur Handhabung des Walzgutes. Für das schwere Duo mit mehreren Gerüsten ist wie bei der Blockstraße vor jedem Gerüst ein Rollgang denkbar, eventuell mit geeigneten Vorrichtungen zum Wenden der Stäbe; aber als neue Aufgabe tritt jetzt hinzu die Notwendigkeit des Quertransports von einem Gerüst bzw. Rollgang zum anderen. Dies kann wohl maschinell durch Krane bzw. Ketten- oder Seilschlepper geschehen, welche mit ihren Daumen aus Schlitzen in der gemeinschaftlichen Abdeckung zwischen den Rollgängen herausragen; wenn jedoch ein gleichzeitiges Walzen in mehreren Gerüsten hier doch nicht beabsichtigt ist, liegt es wohl nahe, den Quertransport einem transportablen

Rollgang (Abbildung 81) zu überlassen, welcher in doppelseitiger Anordnung die große Anzahl stationärer Konstruktionen mit Vorteil zu ersetzen vermag.

Für Triostraßen bildete zunächst die Dachwippe (Abbildung 82) eine vielbenutzte Unterstützung des Walzpersonals; die Handzange zum Erfassen der Stäbe war dabei an einem System von Laufschienen aufgehängt, welche Längs- und Querbewegung neben einem Anheben von der unteren zur oberen Walzebene ermöglichten. Diese Anordnung stellt hohe Anforderungen an die Geschicklichkeit der Mannschaft und verlangt für größere Stabgewichte einen Ersatz durch Bodenkonstruktionen, nämlich durch

Abbildung 82. Ansicht eines Triogerüstes mit Dachwippe.

den „Wipptisch" (Abbild. 83 u. 84), welcher bei einseitig drehbarer Lagerung und Ausbalancierung der bedeutenden Gewichte elektrisch oder mit Preßwasser gehoben oder gesenkt werden kann. Soll jedoch bei großen Stabgewichten das freie Fallen von der oberen Walzebene zur unteren mit seinem verderblichen Einfluß auf die Rollgänge vermieden werden, so sind solche Wipptische zu beiden Seiten der Straßen nötig, und ein Quertransport kann durch Schlepper erst jenseit der Kippachsen, also in eventuell zu großen Entfernungen vom Gerüst, stattfinden. Für solche großen Profile wird also auch beim Trio sehr wohl der transportable Wipper (Abbild. 85) in mehreren Ausführungen nebeneinander die teuren stationären Tische ablösen können, sämtliche Bewegungen durch elektrische Antriebe bewirken, mit geeigneten Kantvorrichtungen sogar während des Quertransports ein Umlegen des Stabes vornehmen

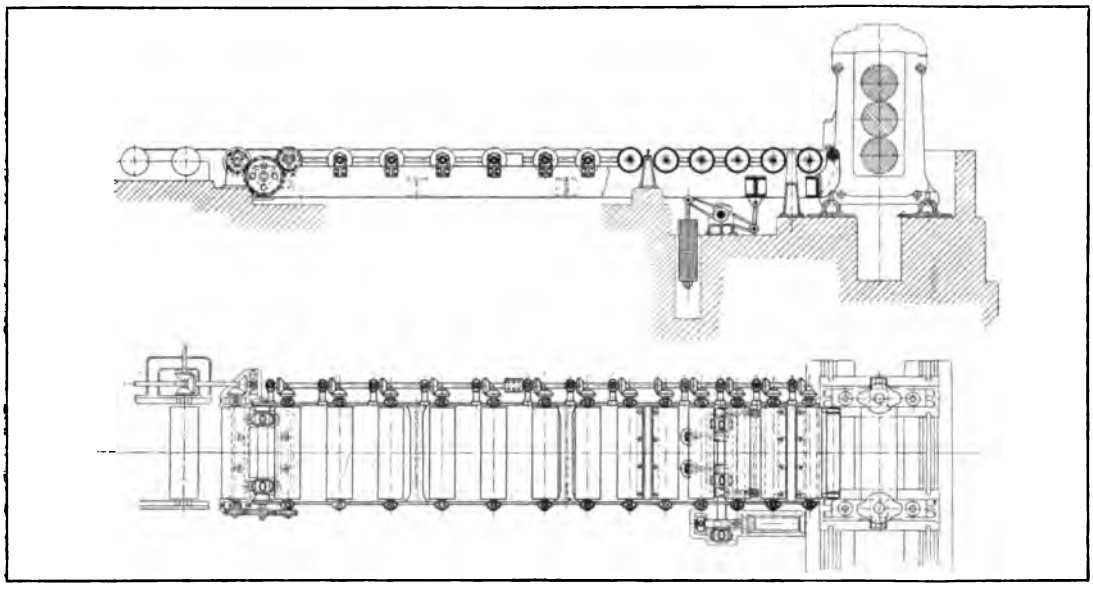
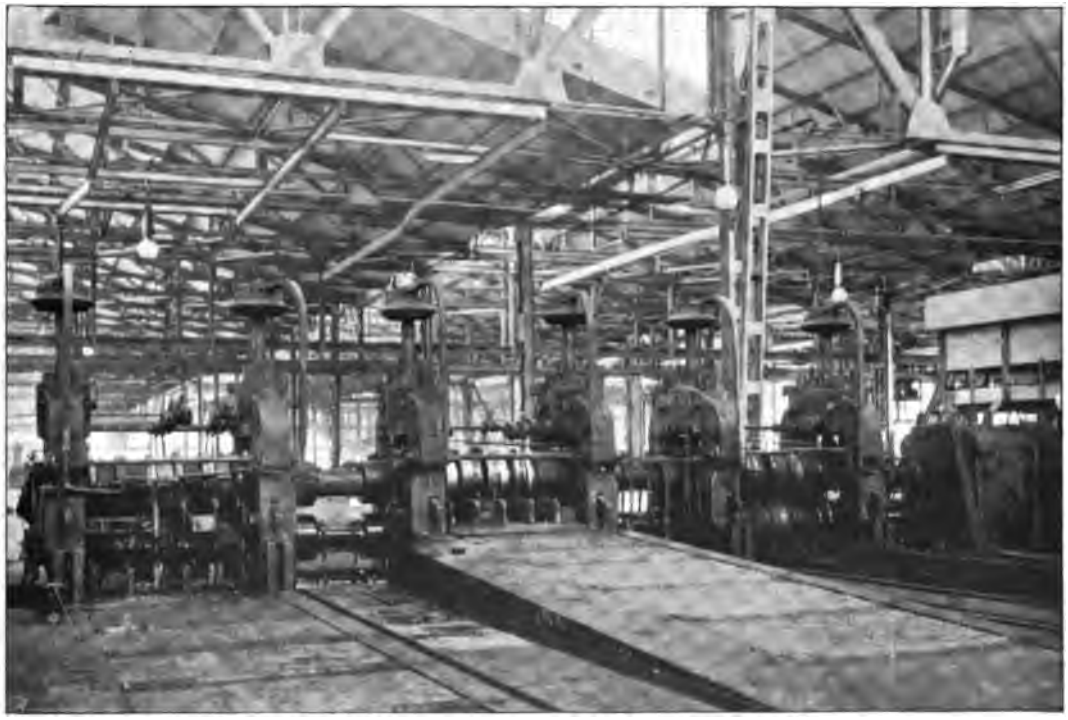


Abbildung 83. Wipptisch.

und diesen selbst vor die eigentlichen Einführungen vor den Walzen verfahren, welche das sichere Erfassen im Kaliber zu erleichtern haben. An kleineren Straßen werden daraufhin Hebetische nur noch an den Vorgerüsten nötig und verlangen dann weder



Abbild. 84. Ansicht einer Triostraße mit Wipptischen. Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen-Friemersheim.

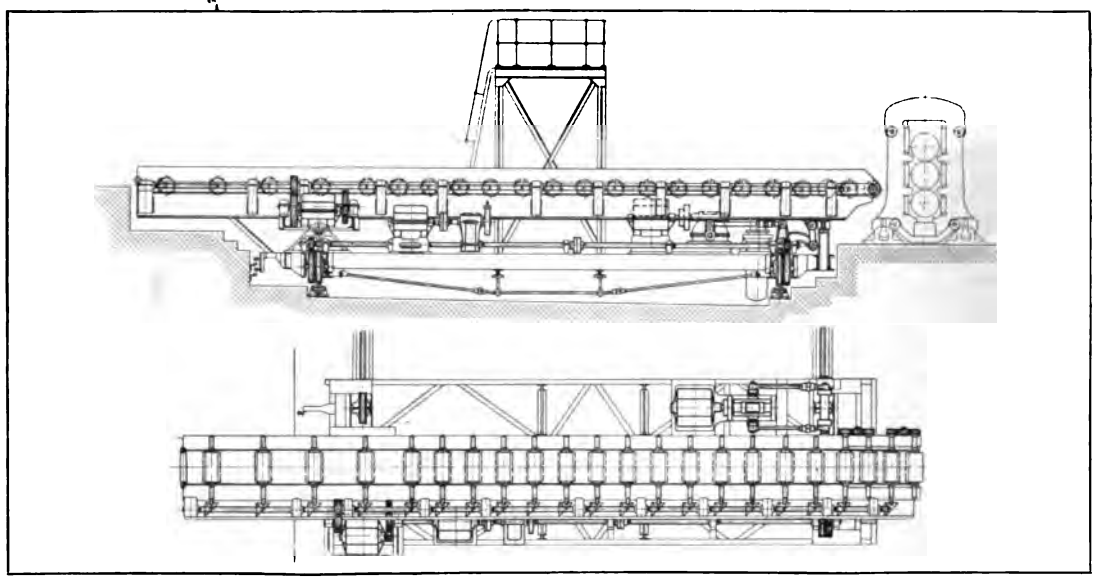


Abbildung 85. Fahrbarer Wipptisch.

große Längen noch angetriebene Rollen; an den folgenden Fertiggerüsten (Abbildung 86) ermöglicht dagegen das verringerte Stabgewicht Handbedienung und

Abbildung 86. Stabstraße mit Handbedienung. Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen-Friemersheim.

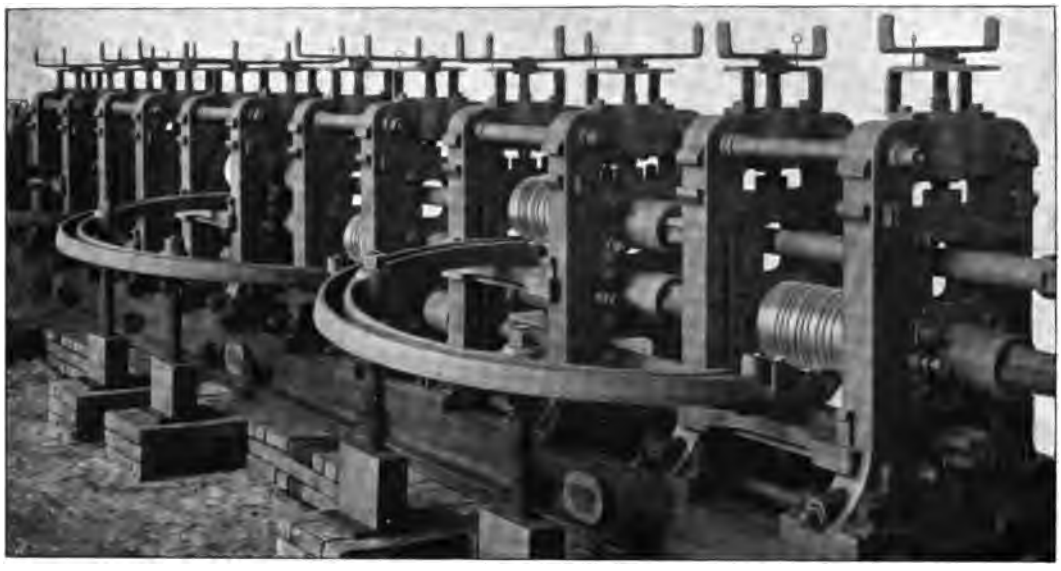


Abbildung 87. Ansicht einer Feinstraße mit stationärer Umführung.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

lose Rollen statt der angetriebenen Rollgänge; an den Feinstraßen endlich, an welchen hohe Produktionsfähigkeit sofortiges Umleiten des Stabes in das nächstfolgende Kaliber fordert, läuft dieser selbsttätig in besonderen feststehenden „Umführungen" (Abbildung 87) von einem Gerüst zum anderen, wenn seinem Profil entsprechend kein unbeabsichtigtes Umkanten des freien Stabes in der Schleife eintreten kann. Muß dagegen beim Flachaustreten der Stab während des Umführens hochkantig gestellt und hochkantig eingeführt werden, so übernehmen bewegte Scheiben (Abbildung 88), deren Umfangsgeschwindigkeit größer als die Stabgeschwindigkeit ist, eine solche Umführung und verhindern durch Schleuderwirkung und mitnehmende Reibung ein Umfallen des einmal hochgestellten Stabes.

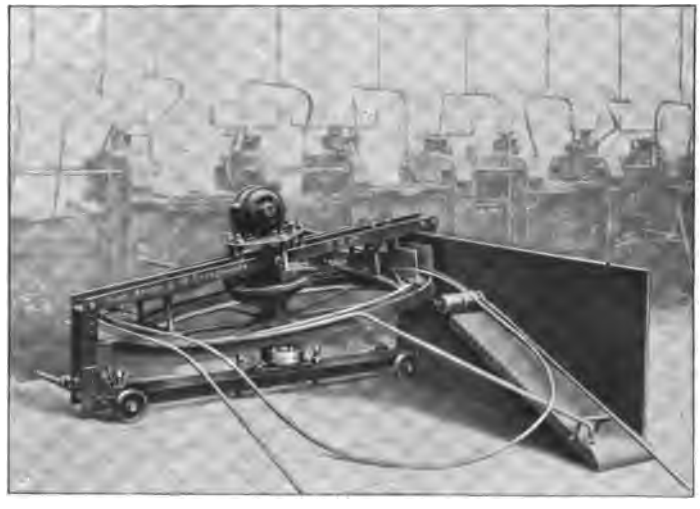


Abbildung 88. Ansicht einer rotierenden Umführung.
Friedrich Krupp A.-G. Grusonwerk, Magdeburg-Buckau.

Im Antriebe dieser Triostraßen läßt die Häufung der Gerüste und Verbindungsglieder zunehmende Anlehnung an die gebräuchlichen Formen des Transmissionsbaues naheliegen. Brechspindeln oder Sicherheitskuppelungen haben sofortiges Ausschalten der durchlaufenden Antriebsmaschine bei Störungen im Walzwerk zu gewährleisten, beste Konstruktion der Kammwalzgerüste und

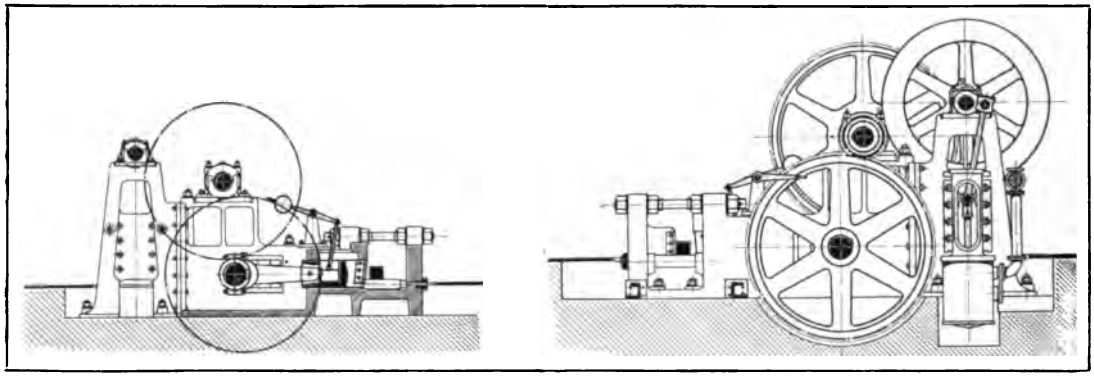


Abbildung 89 u. 90. Alte Blockscheren.

Verbindungsteile zwischen den einzelnen Gerüsten zu hohe Leerlaufarbeiten zu umgehen.

Auch die verschiedenen Einrichtungen zum Unterteilen der Walzlängen haben eine Durchbildung erfahren, welche sowohl zu verschiedenen Lösungen für die einzelnen Fertigprodukte geführt hat, als auch den wirtschaftlichen Anforderungen immer mehr Rechnung zu tragen versuchte. Die Aufgaben der Scheren und Sägen sind recht verschiedene; hinter der Blockstraße handelt es sich darum, den noch hellroten und genügend weichen, vorgewalzten Block rasch in die entweder für die Verladung oder die Weiterverarbeitung an nachfolgenden Straßen benötigten Längen zu unterteilen. Das kann wohl am besten von einer mit raschem Schnitt arbeitenden starken Schere durchgeführt werden; aber es ist ziemlich schwierig, wirtschaftlichen und konstruktiven Anforderungen hierbei gleichzeitig zu entsprechen. In der älteren Ausführung einer Blockschere (Abbildung 89 u. 90) geschieht wohl der Schnitt im Kräfteschluß innerhalb eines Rahmens ohne eine Belastung von Außenteilen, jedoch ist der Antrieb des Messers durch Dampf vorgesehen; die billige Kleindampfmaschine, die neben unverhältnismäßig hoher Leitungskondensation selbst noch hohen Dampfverbrauch aufweist, muß zunächst durch elektrischen Antrieb ersetzt werden. Der durchlaufende Antrieb ermöglicht wohl Energieaufnahme in den rotierenden Teilen der Transmissionszahnräder, aber damit ist im Zusammenhang mit der primitiven Einrückung durch einen Stein zwischen Messerträger und Exzenter-Druckstange insofern ein logischer Fehler begangen, als die Zahnräder nichts weniger als geeignet sind zur Aufnahme der heftigen Stöße beim Beginn des Schnittes. Überdies muß der Charakter dieser plötzlichen Drucksteigerung im Getriebe sich verschärfen bei zu

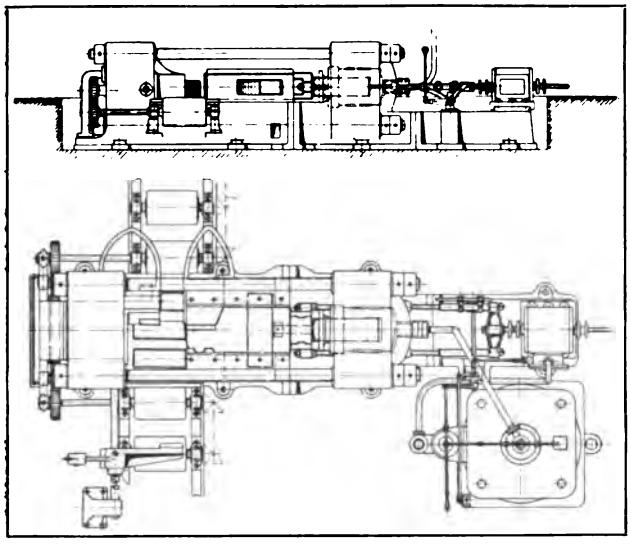


Abb. 91. Horizontale Blockschere mit hydraulischem Antrieb.

kaltem Material und bei kleineren als den normalen Profilen, bei welchen das Auftreffen der Schneide auf den Stab vielleicht mit der maximalen Geschwindigkeit des Kurbelantriebes erfolgen könnte. Der hydraulische Antrieb könnte anscheinend konstruktiv wesentliche Verbesserungen mit sich bringen, indessen hat es sich als ungünstig erwiesen, die Anlehnung an die hydraulische Presse so weit zu treiben, daß der Schnitt von oben nach unten geführt würde. In diesem Falle muß nämlich hinter der Schere ein versenkbares Stück des nachfolgenden Rollganges das abgetrennte Stabende nachgiebig aufnehmen; aber in dieser „Rollgangswippe" muß dann ein Detail in Kauf genommen werden, welches dem rauhen Betriebe schlecht gewachsen ist und deshalb an sich zu häufigen Störungen führt. Der horizontale Schnitt (Abbildung 91) endlich führt einerseits zu einer umfangreichen und vielteiligen Anordnung, anderseits durch nur mangelhafte Anpassung an verschiedene Blockdimensionen zu einem hohen Dampfverbrauch im Multiplikator und Rückzugszylinder; allerdings sind dabei die Stöße und ungünstigen Beanspruchungen des einfachen Transmissionsbetriebes vermieden. Günstigere Lösungen in jeder Hinsicht werden zu einer elektrisch angetriebenen Schere führen müssen, welche einen Teil von Massenwirkungen allerdings auch noch in Kauf zu nehmen hat, den Charakter des Stoßes aber wenigstens dadurch zu mildern suchen muß, daß der eigentlichen Schnittbewegung ein vorheriges Anliegen der Schneiden an beliebigen Blockquerschnitten vorauszugehen hat, nach welchem erst der Schnitt aus der Totlage der aktiven Schneide erfolgen kann.

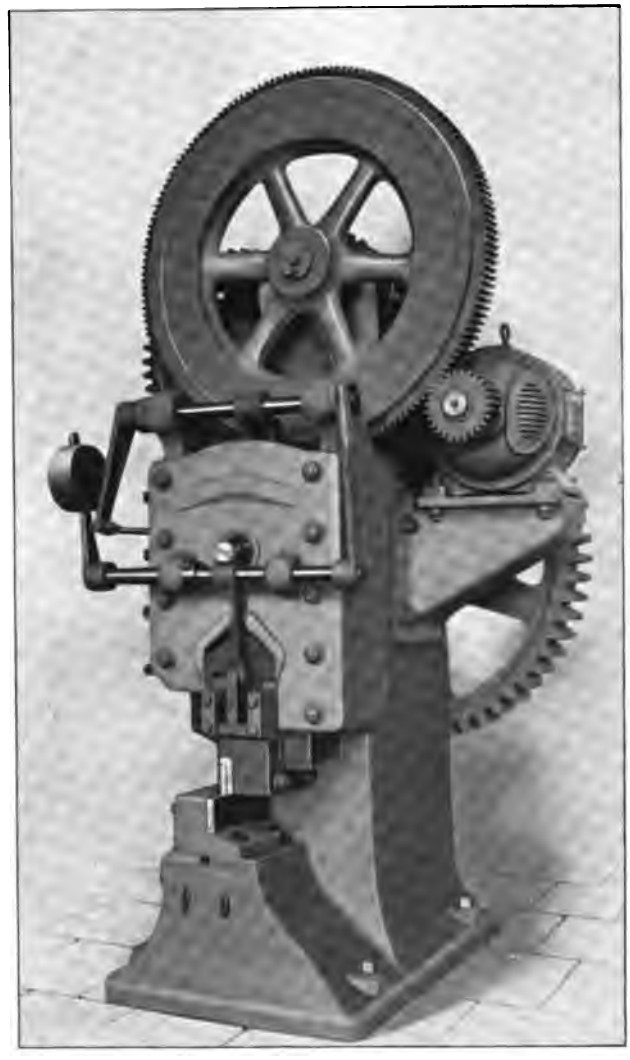


Abbildung 92. Ansicht einer elektrischen Knüppelschere. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

Bei kleineren Profilen einfacher Art, welche raschlaufende Scheren für kaltes Material noch zulassen (Abbildung 92), spielen diese Massenwirkungen eine geringere Rolle; hier wird es nicht nötig sein, Komplikationen des einfachen Exzenterantriebes in Kauf zu nehmen, es wird vielmehr genügen, die für das Walzwerk fast typisch gewordene Ausrückkuppelung mit verschiebbarem Stein durch konstruktiv höherstehende Elemente zu ersetzen. Für profilierte Stäbe aller Art und Dimensionen

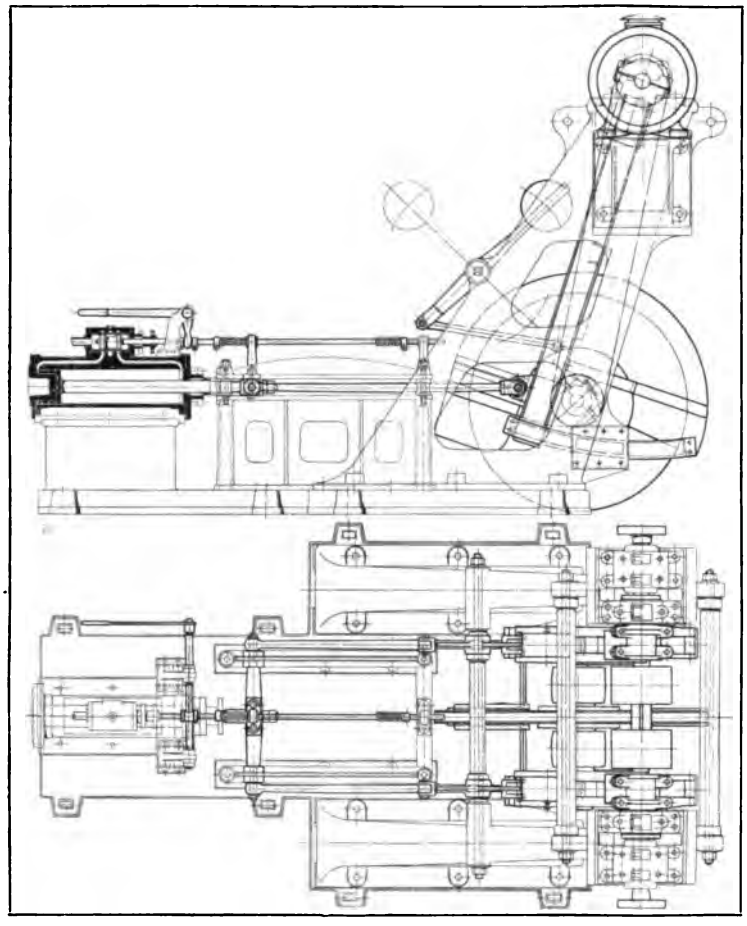


Abbildung 93. Pendelsäge.

muß naturgemäß die Schere mit geraden Schneiden entfallen, und an ihre Stelle tritt die Säge, rasch laufend für warmes und langsam laufend für kaltes Material. Als Pendelsäge mit maschinellem Vorschub (Abbildung 93) gestattet dieses System wohl vorzügliche Kräfteaufnahme, jedoch ist die Zugänglichkeit des Sägeblattes, eine spezielle und naheliegende Notwendigkeit, nicht derart, wie es für flotten, ungestörten Betrieb wünschenswert erscheint. Die Schlittensäge (Abbild. 94) hat daneben ersichtlich den Vorteil einfacheren Ausbaues.

An diese Scheren, welche in verschiedener Größe die Walzstäbe auf die geforderten Längen zu unterteilen haben, reiht sich ein Betrieb an, welcher für den flüchtigen Beobachter ein Anhängsel scheint, den Fachmann aber die sorgfältigsten Überlegungen kostet, nämlich die Adjustage und Verladung. Die Rücksicht auf möglichst geringe Belastung der Selbstkosten mit den Arbeiten hinter dem eigentlichen Walzprozeß verlangt den Ersatz des Menschen durch die Maschine im größten Umfange, besonders für Transportzwecke, und in steigendem Maße naturgemäß mit abnehmendem Gewicht und Wert des einzelnen Stückes. Dem kann aber neben konstruktiv richtiger Durchbildung der Einzelheiten nur eine wohlüberlegt großzügige Disposition entsprechen, welche die einzelnen Transportelemente durch glattes Zusammenarbeiten völlig ausnutzen läßt, unnötige Wege vermeidet

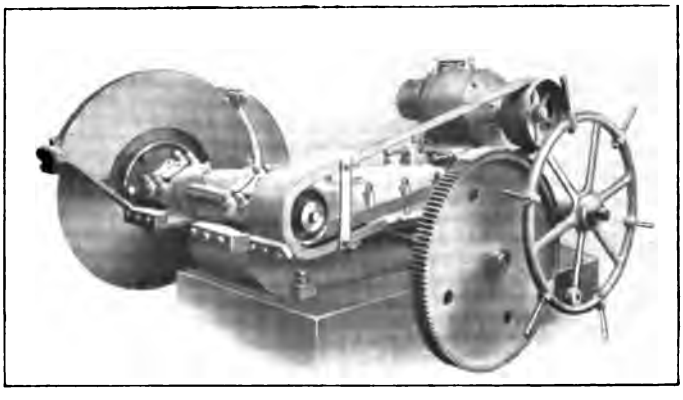


Abbildung 94. Ansicht einer Schlittensäge.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

und in ungehinderter Erweiterungsfähigkeit darauf Rücksicht nimmt, daß ja an dieser Stelle sich die Erzeugnisse des ganzen Betriebes zusammenfinden, und daß eine unglückliche Anordnung eventuell die Produktionserhöhung der ganzen Anlage verhindern kann. Die Bedeutung dieser Fragen ist vielfach noch nicht voll gewürdigt, obwohl einmal gemachte Fehler schon deshalb um so schwerer sind, als nachträgliche Änderungen entweder ganz unmöglich werden oder doch bedeutende Kosten verursachen. Es läßt sich hier nur andeutungsweise auf die Grundlagen dieser Betriebe eingehen. Vor dem Verladen werden je nach den Arten der Produkte und den Anforderungen des Marktes eine Reihe von Arbeiten nötig, wie Fräsen, Bohren, Lochen usw., welche in kaltem Zustande und am geraden Stabe vorzunehmen sind. Das Abkühlen der Fertigprodukte muß auf sogenannten Kühlbetten geschehen, Rosten, auf welchen sich während der Querbewegung von einer Seite zur anderen das Walzgut abkühlen kann. Es ist eine selbstverständliche Forderung, daß im Auflager und in der Transporteinrichtung solcher Roste zunächst darauf Rücksicht genommen werden muß, daß der vielleicht leidlich gerade vom Walzwerk ankommende Stab hier nicht aus Versehen erst krummgezogen wird, wodurch nur die nachherigen Richtarbeiten erschwert würden. Für das Geraderichten in kaltem Zustande, eine Überschreitung der Elastizitätsgrenze, werden kontinuierliche Einwirkungen in Rol-

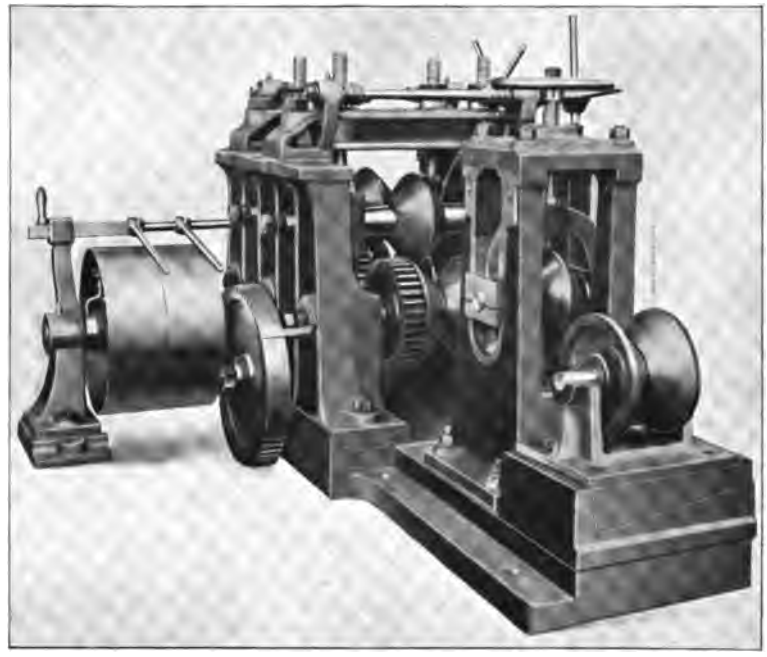


Abbildung 95. Ansicht einer Rollenrichtmaschine für Winkeleisen. Kalker Werkzeugmaschinen-Fabrik Breuer, Schumacher & Co. A.-G. Kalk bei Köln.

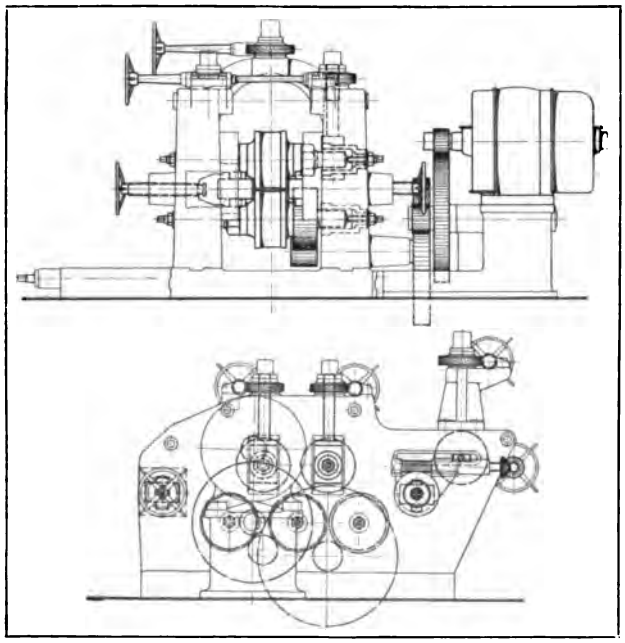


Abbildung 96. Rollenrichtmaschine für I-Eisen.

lenrichtmaschinen (Abbild. 95 u. 96) ruckweisen Beanspruchungen unter den Richtpressen vorzuziehen sein, obwohl sie nicht bei allen Profilen den Stab so exakt geradezurichten vermögen, wie der Markt sie fordert; jedenfalls können sie aber bei geringsten Anforderungen an Bedienungsmannschaft wenigstens das Vorrichten übernehmen. Bei Draht- und Bandeisen weiterhin werden Spezialmaschinen das Aufwickeln in Ringe oder Bündel übernehmen und die fertigen Bündel oder Schleifen geeigneten kontinuierlichen Transportvorrichtungen übergeben.

In den Transportvorrichtungen über den verschiedenen Fertiglagern und dem Verladeplatz endlich wird es zu vermeiden sein, daß Riesenkrane (Abbildung 97) auf größere Entfernungen selbst verfahren müssen, um nur wenige Träger dabei zu transportieren; hier wird eine wohlüberlegte Disposition anstreben müssen, die toten Lasten für den Einzeltransport zu verringern und auch den Rangierbetrieb der Bahnwagen auf ein Mindestmaß zu beschränken.

* * *

Wesentlich andere Formen der Walzwerke und ihrer Gesamteinrichtung ergeben sich bei der Herstellung der Platten und Bleche. Wohl ist das Blech in seinen

Abbildung 97. Ansicht eines Riesen-Verladekrans.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

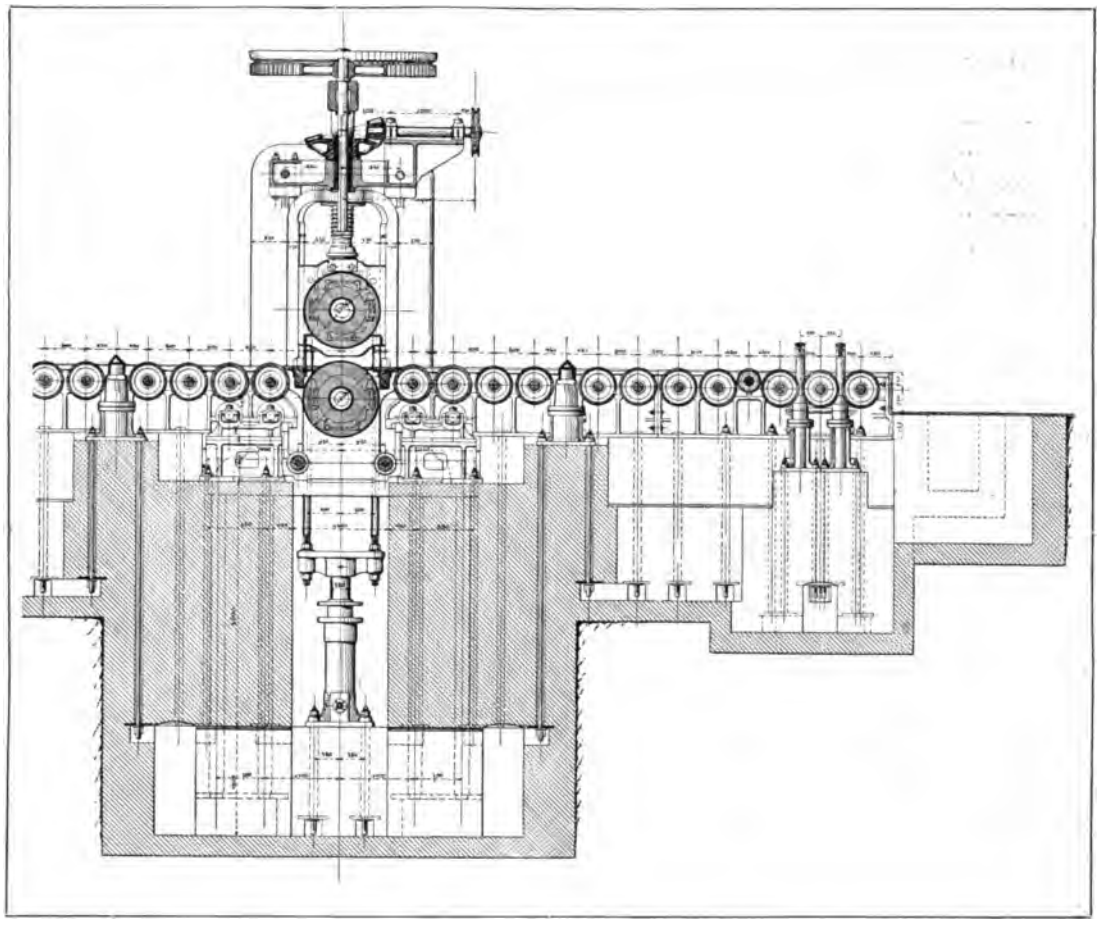


Abbildung 98. Walzwerk für schwere Platten.

verschiedenen Dimensionen bis zur schweren Panzerplatte an sich das einfachste Walzprodukt, weil es nur glatte Walzen verlangt, aber dafür werden entweder durch die Schwere der Platte oder mit Rücksicht auf besonders umfassendes Walzprogramm Einrichtungen nötig, welche sich wesentlich von den bisher erörterten unterscheiden und dem Aufbau dieser Walzwerke ein ganz bestimmtes charakteristisches Gepräge verleihen.

Für die Erzeugung der Panzerplatten ist das Ausgangsprodukt die gegossene „Bramme" in größten Dimensionen, z. B. einer Länge und Breite von 3 m bei 3/4 m Dicke. Für derartige Blockgewichte kann als Walzwerk nur das reversierbare Duo in Frage kommen (Abbildung 98 u. 99), welches in Anlehnung an gewöhnliche Blockreversierstraßen anstellbare entlastete Oberwalzen und umsteuerbare Arbeitsrollgänge besitzt. Neu ist am Walzgerüst nur die größte Rücksicht auf exakte Ermöglichung auch kleiner Verstellungen und genau parallele Einstellung der Walzen; im Rollgang hingegen tritt an die Stelle des Kippstuhls eine Ablegevorrichtung für die etwa von großen Chargiermaschinen herangefahrenen Platten und an Stelle der Kantvorrichtung beiderseits eine Reihe von einzeln abhebbaren Wendedaumen, welche zusammen mit dem Rollgang ein Drehen der Platte um 90° ermög-

lichen. Dies wird durch den eigenartigen Walzvorgang bedingt; die Platte ist in ihren Anfangsdimensionen schmäler und kürzer als das Fertigprodukt; da nun die Breitung beim Walzen geringer ist als die Streckung, wird zunächst in einer Reihe von Durchgängen annähernd die gewünschte Breite der Platte durch Streckung erzeugt, dann um 90° gewendet und nun in der Längsrichtung weitergewalzt. Dieser Vorgang, bei allen Blechen ähnlich, ist übrigens bedingend für die verschiedenen Festigkeiten in der Walzrichtung und senkrecht zu ihr.

Nach gleichen Gesichtspunkten ist das Fertigwalzwerk für kleinere Platten und schwere Bleche, sogenannte „Grobbleche", auszurüsten; andere Formen können dagegen auftreten, sobald die kleineren Fertiggewichte noch dünnerer Blechsorten sowie die Rücksicht auf ein möglichst umfassendes Walzprogramm Zwischenprodukte wünschenswert machen, in gleicher Weise etwa, wie beim Stabeisenwalzwerk „vorgewalzte Blöcke" und „Knüppel" als Zwischenstufen der Bearbeitung, d. h. als Ausgangsprodukt für die nachfolgenden Fertigstraßen aufgetreten sind. Als solches Ausgangsprodukt wird für die Feinblech-Fertigstraßen die „Platine" nötig, ein Breiteisen von etwa 10—20 mm Dicke und 150—250 mm Breite, und die Feinbleche in Stärken unter 5 mm werden dabei so gewalzt, daß Platinen, deren Länge etwa der beabsichtigten Breite des Bleches entspricht, in einfachen Duowalzwerken mit anstellbarer Oberwalze quergelegt und bis auf etwa 2 mm Stärke ausgestreckt werden. An sich könnte nun die Platine wohl im gewöhnlichen Stabeisenwalzwerk in geschlossenen Kalibern entstanden sein; wenn aber in einer gänzlich selbständigen Anlage

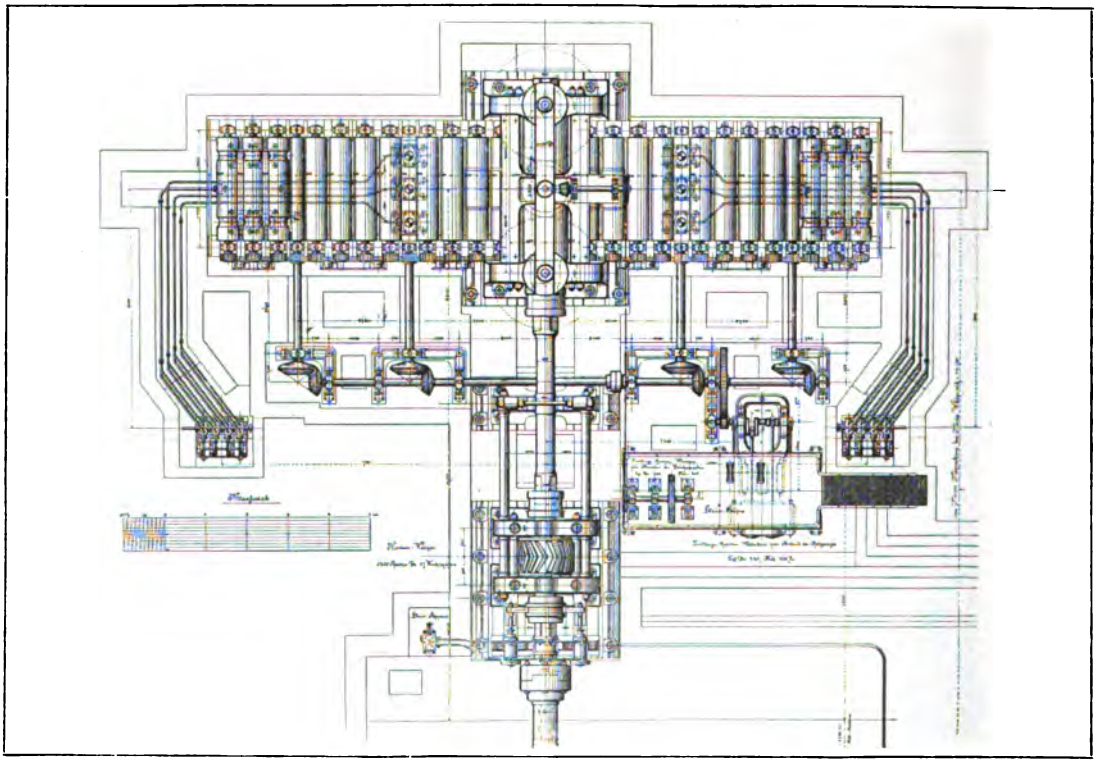


Abbildung 99. Plattenwalzwerk (Grundriß).
Märkische Maschinenbauanstalt Ludwig Stuckenholz, A.-G., Wetter a. d. Ruhr.

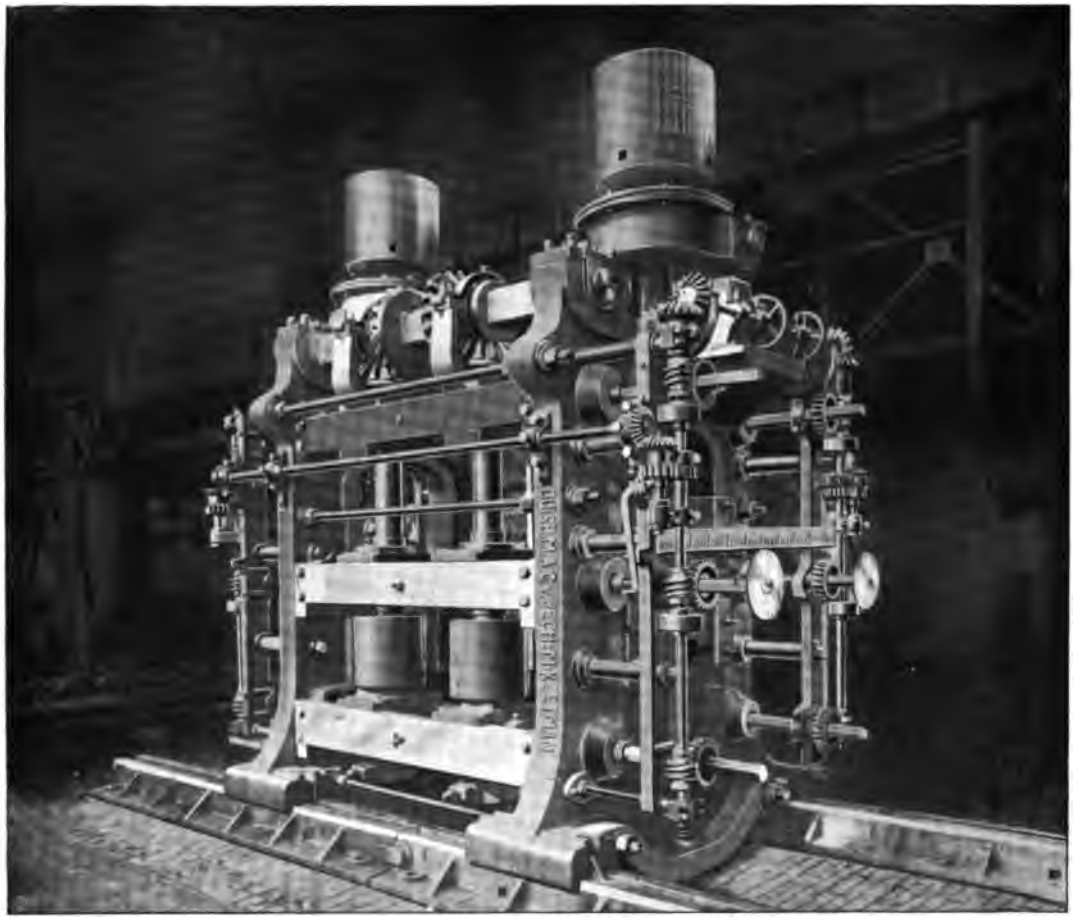


Abbildung 100. Ansicht eines Duo-Universalgerüstes.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

neben dem Bedarf an Platinen auch der Kommissionsbedarf an Breiteisen aller Art und Dimensionen gedeckt werden soll, bei welchen die Forderung exakter seitlicher Begrenzung die Erzeugung in gewöhnlichen glatten Walzen verbietet und geschlossene Kaliber verlangt, dann würde der Betrieb durch die große Anzahl der benötigten Kaliberwalzen und den oftmaligen Walzenwechsel empfindlich belastet. Das Walzwerk mit nebeneinanderliegenden geschlossenen Kalibern wird dann ersetzt durch das Universalwalzwerk, welches nebst anstellbaren glatten Oberwalzen und Unterwalzen auch anstellbare glatte vertikale Seitenwalzen besitzt (Abbildung 100) und zwischen diesen also in beliebigen Variationen Stärke und Breite des Breiteisens, jezt „Universaleisen" genannt, bestimmen kann.

Besitzt nun die Universal-Fertigstraße zur Erzeugung der verschiedenen Breiteisen bzw. des Walzprogramms eine gewisse Ähnlichkeit mit der selbständigen Knüppelstraße, so ergibt sich auch für ihre Vorstufe, welche die schwere Rohbramme zu vorgewalzten Brammen, dem Ausgangsprodukt der Universal-Fertigstraße und Blechstraßen, auszuwalzen hat, eine Anlehnung an die gewöhnliche Blockstraße. Soll in einer Anlage mit umfassendem Walzprogramm eine möglichst einheitliche schwere

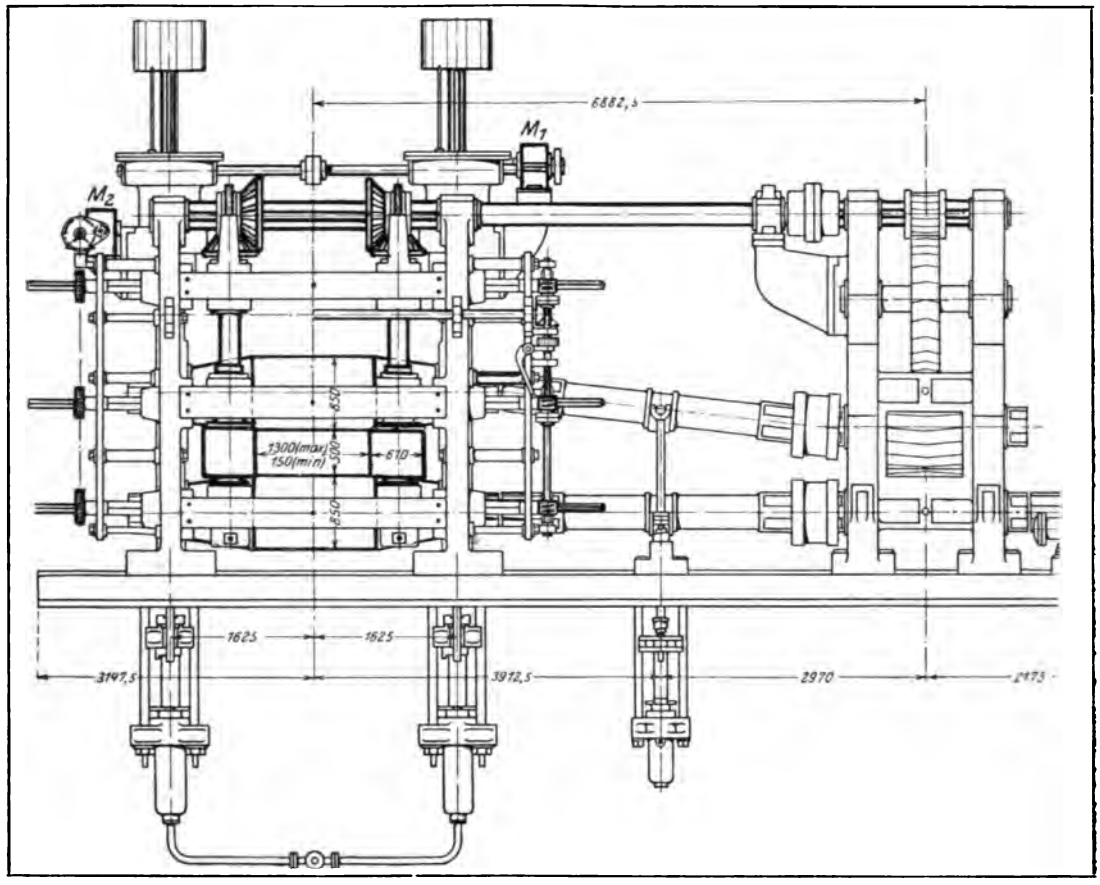


Abbildung 101. **Ältere Universalstraße.**

Bramme den Betrieb des Stahlwerks entlasten, so wird in der Blockstraße wieder neben den anstellbaren horizontalen auch ein Paar vertikaler Walzen nötig, um den verschiedenartigsten Bedarf an vorgewalzten Brammen ohne jeden Walzenwechsel decken zu können; die gewöhnliche Blockstraße wird damit zur Universal-Blockstraße.

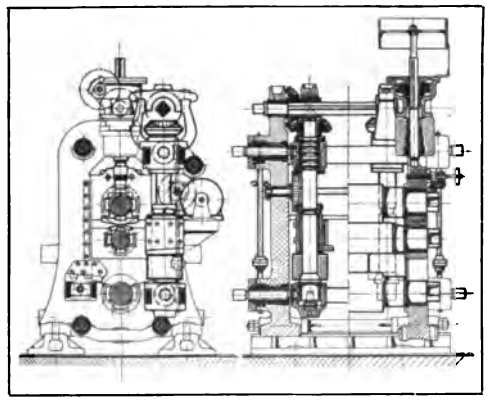


Abbildung 102. **Universalgerüst.**

Wie früher wird dabei die Frage nach dem System, Duo oder Trio, vom Blockgewicht entschieden, Hand in Hand mit der Notwendigkeit hoher Walzgeschwindigkeiten. Für die Universal-Blockstraße wird unbedingt das reversierbare Duo am Platze sein, während für die Universal-Fertigstraßen zur Erzeugung langer Streifen das Trio wieder in Frage kommen kann; jedoch ist nicht zu vergessen, daß die eine Überlegenheit des gewöhnlichen Trios, in zwei Walzebenen mehr Kaliber aufnehmen zu können als das Duo, bei der Universalstraße in Wegfall kommt, der Reversierbetrieb also auch hier noch den Entfall der Hebetische voll

zur Geltung bringen könnte. Mit der Entscheidung für die Grundform des Walzwerks ist dann auch eine weitere Frage entschieden, nämlich diejenige nach der Anordnung der Vertikalwalzen. Obwohl diese Walzen bei der Fertigstraße in der Hauptsache nur eine exakte Begrenzung der Breitung zur Aufgabe haben, keine eigentliche energische Einwirkung auf das Walzprodukt mehr, wie bei der Blockstraße, erhalten die Walzen doch ebenso wie die horizontalen stets Antrieb vom Kammwalzgerüst aus, besitzen also ein konstantes Verhältnis ihrer Umfangsgeschwindigkeit zu derjenigen der horizontalen Walzen. Daraus ergibt sich von selbst, daß im Duogerüst, wo entsprechend der Aufgabe der Blockstraße jeder Stich ausgenutzt werden muß, zur Formveränderung der Bramme vertikale Walzen auf beiden Seiten der horizontalen angeordnet sein sollten (Abbildung 101), während bei der Trio-Fertigstraße, wo ein zu großer Seitendruck das schwache Breiteisen nur quetschen würde, ein Paar vertikaler Walzen auf der Auslaufseite der unteren Walzebene genügt (Abbildung 102).

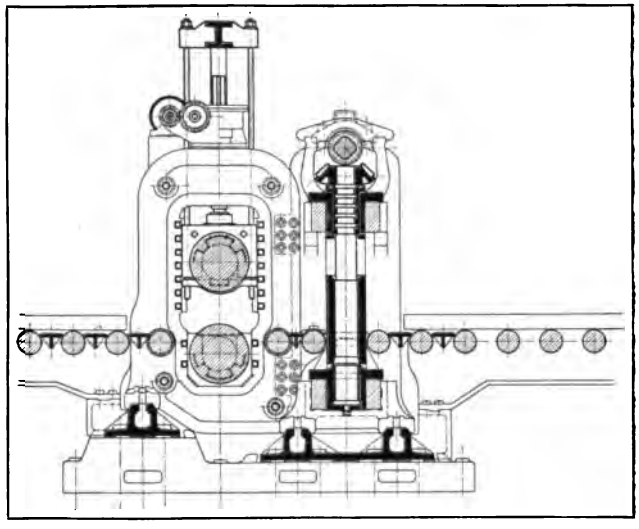


Abbildung 103. Universalgerüst.

So einfach an sich der Gedanke der senkrechten Walzen erscheint, so schwierig wird seine konstruktive Durchführung. Das unveränderliche Geschwindigkeitsverhältnis der beiden Walzensysteme zueinander kann nicht für alle Querschnittsabnahmen und Temperaturen während einer Walzperiode gleichmäßig richtig sein; infolgedessen ist in diesen vertikalen Walzen mit sehr ungünstigen Beanspruchungen des Kegelradantriebes zu rechnen, für den an sich ungünstige Lagerungsverhältnisse zu den schwierigen Aufgaben der Anstellung und des Rückzuges der Walzenlagerung hinzukommen. Es wird sich wohl empfehlen, die Anstellspindeln in sicherer Kapselung nur mit der Anstellung selbst zu belasten, aber nicht auch mit dem Rückzug, diesen vielmehr besonderen Rückzugsvorrichtungen, etwa Preßzylindern, zu übertragen, und weiterhin durch völlige Trennung der Gerüste für die vertikalen und horizontalen Walzen (Abbild. 103 u. 104) günstigere Verhältnisse für Lagerung, Antrieb und Zugänglichkeit der beiden Systeme zu schaffen.

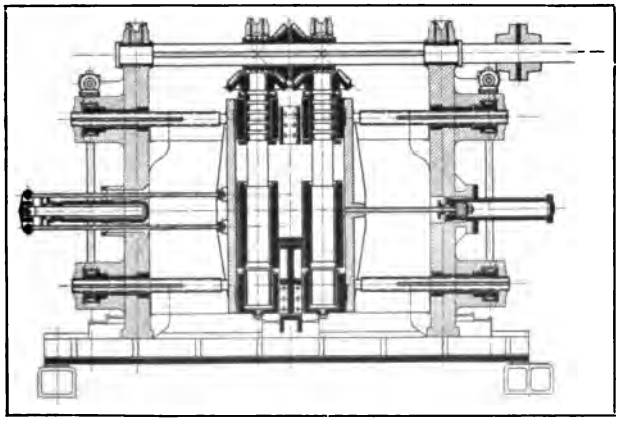


Abbildung 104. Universalgerüst.

Eine weitere Eigenart besitzt das Universaltrio bezüglich des Antriebes und der Lagerung der Mittelwalze. Da eine Anstellbarkeit sowohl in der oberen als auch der unteren Walzebene während des Walzens vor-

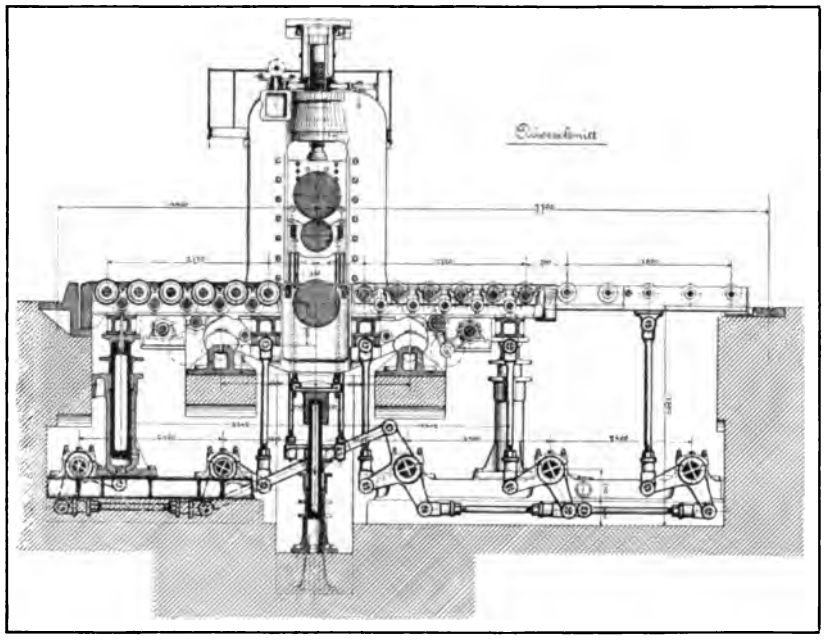


Abbildung 105. Lauthsches Trio. Schnitt mit Hebetisch.

handen sein muß, so würde eine Anlehnung an das gewöhnliche Stabeisentrio dazu führen, die Mittelwalze mit eigenem Antrieb festzulegen, die obere und untere dagegen anstellbar zu machen; diese Anordnung würde aber, zusammen mit den Anstellspindeln, Zeigervorrichtungen, Anstellmotoren, Entlastungen und Antrieben zu einer unerträglichen Komplikation führen. In der Anlehnung an das sogenannte Lauthsche Trio (Abbildung 105 u. 106), wie es als Fertigstraße für mittlere Bleche Verwendung findet, wird dagegen die Mittelwalze als „Schleppwalze" ohne äußeren Antrieb, jedoch mit besonderer Entlastung durchgeführt, welche sich beim Walzen entweder oben oder unten

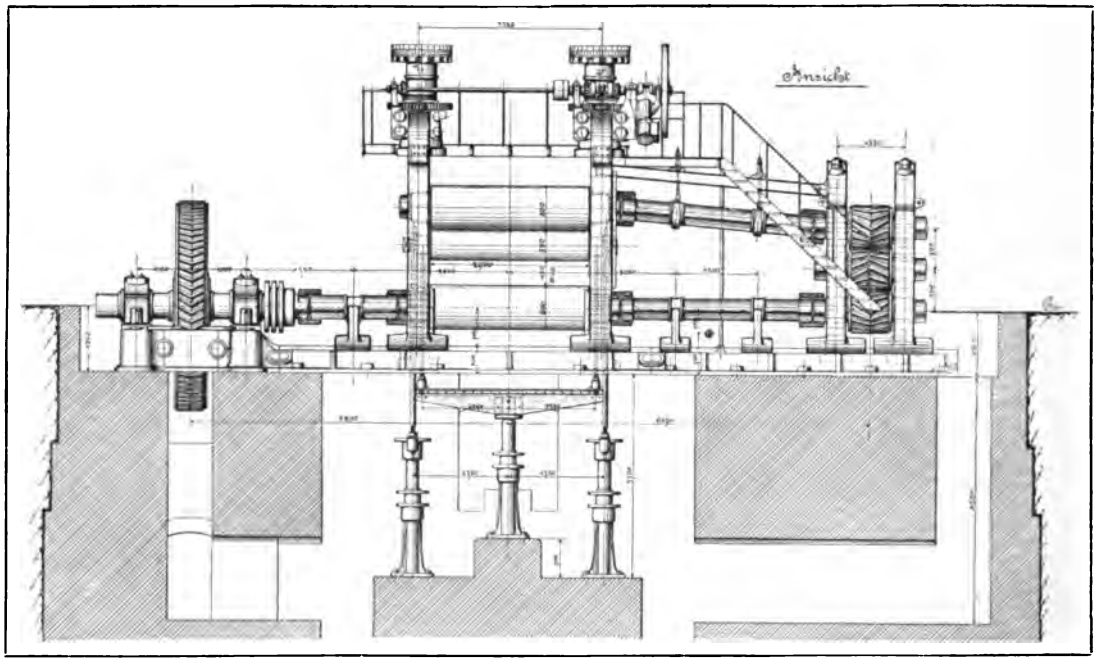


Abbildung 106. Lauthsches Trio.

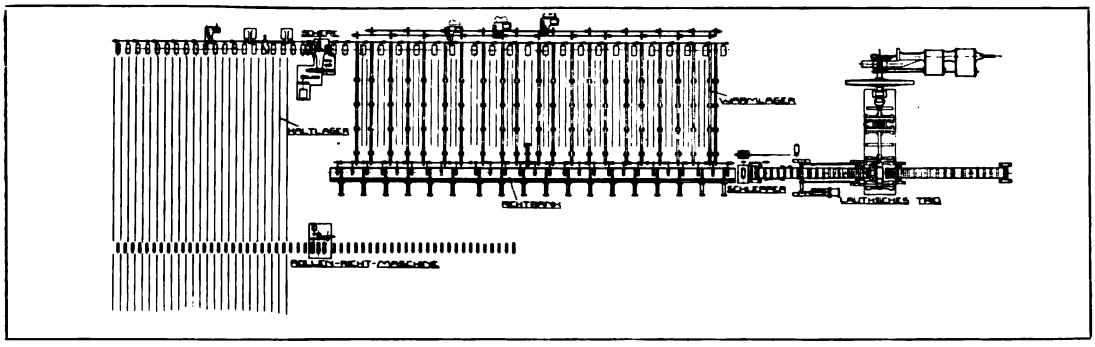


Abbildung 107. Universal-Platinenwalzwerk.

anlegt und trotz des eigenen kleineren Walzendurchmessers die Walzgeschwindigkeit an beiden Seiten des Bleches gleichbleiben läßt. Gerade die in Abbildung 105 gezeigte Ausführung läßt aber auch erkennen, daß das Trio für Blechstraßen wieder nur für mäßige Blechgewichte angewendet werden sollte, wo einfachere und leichtere Wipptische ohne Rollenantrieb und ohne umfangreiche Entlastungen an die Stelle der teuren und schwerfälligen Einrichtungen unter Flur treten können, welche sonst zusammen mit der doppelten Entlastung der oberen und mittleren Walze die Gesamtanlage zu einem sehr unübersichtlichen Aggregat stempeln.

Somit ließe sich etwa für ein großes Blechwalzwerk mit umfassendem Walzprogramm die Einteilung der Produktion so denken, daß ein Universal-Reversierduo den Bedarf an vorgewalzten Brammen aus Rohbrammen deckt, schwere Reversierduos die eigentliche Fabrikation der Platten und stärkeren Sorten von Großblechen übernehmen, eine Platinen- bzw. Universaltriostraße (Abbildung 107) Breiteisen und Platinen erzeugt, ein Lauthsches Trio mittelstarke Bleche, und gewöhnliche Feinblechstraßen endlich die verschiedenen Sorten von dünnen Blechen auswalzen.

Die Konstruktion dieser Feinblechstraßen kann nun zunehmende Vereinfachungen erfahren (Abbildung 108 u. 109); der Schwungradantrieb wird schließlich nur

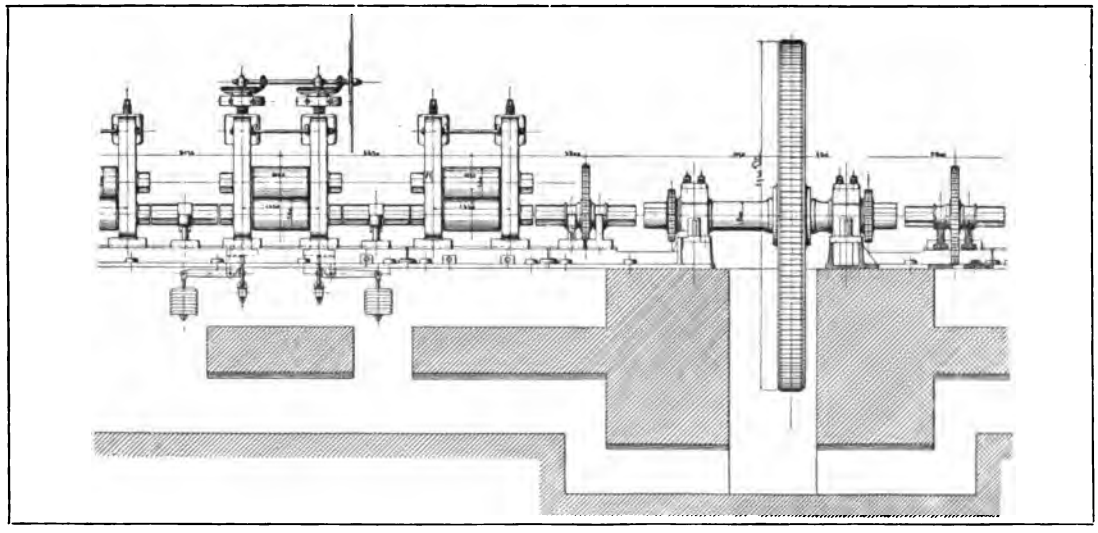


Abbildung 108. Feinblechstraße.

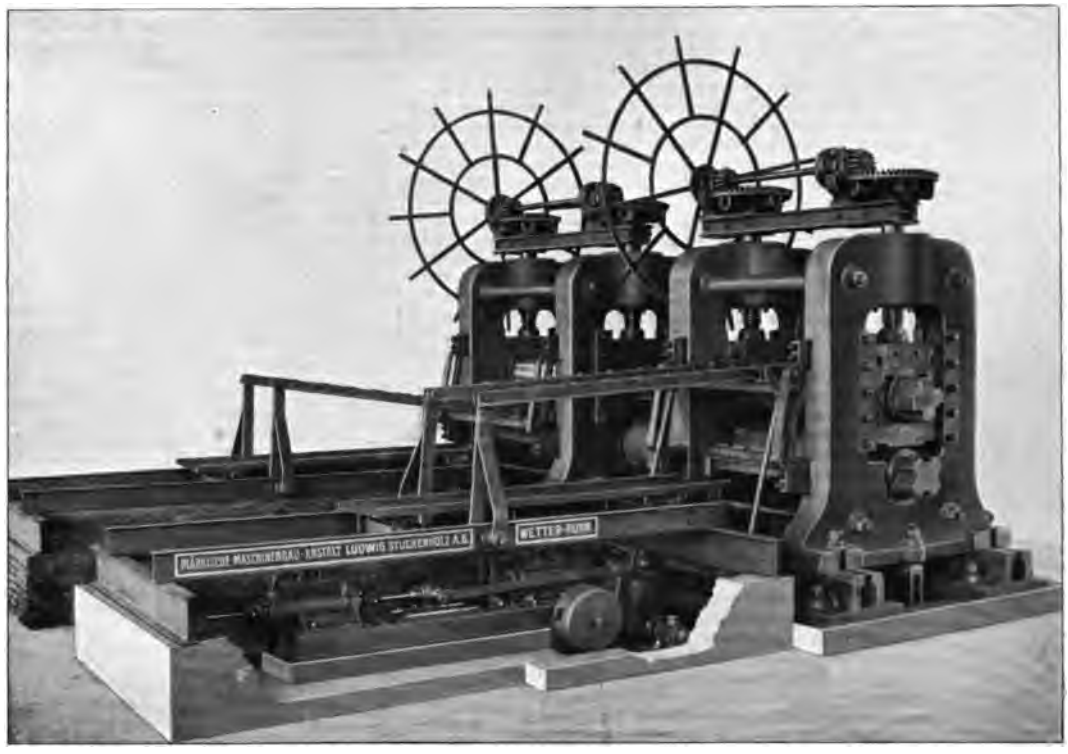


Abbildung 109. Ansicht eines Feinblechwalzgerüstes.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

noch auf die unteren Walzen von Duogerüsten übertragen, die Hebetische reduzieren sich auf einfache Vorrichtungen, welche die Bleche über die durchlaufenden Oberwalzen zurückreichen lassen, und Walzenanstellungen von Hand treten an Stelle der maschinellen; Walzenentlastungen können völlig entfallen. Dabei tritt nun die Erscheinung auf, daß es nur bis zu 2 mm Blechstärke herunter möglich ist, ein einzelnes Blech auszuwalzen; die Walzdrücke in den breitgelagerten Ständen sind derart, daß die Deformation der Gerüste selbst diesen Betrag erreicht, so daß sogar bei fest aufeinanderliegenden Walzen das 2-mm-Blech sich seinen Durchgang erzwingt; wenn es sich nun um die Erzeugung dünnerer Bleche handelt, so ist man genötigt,

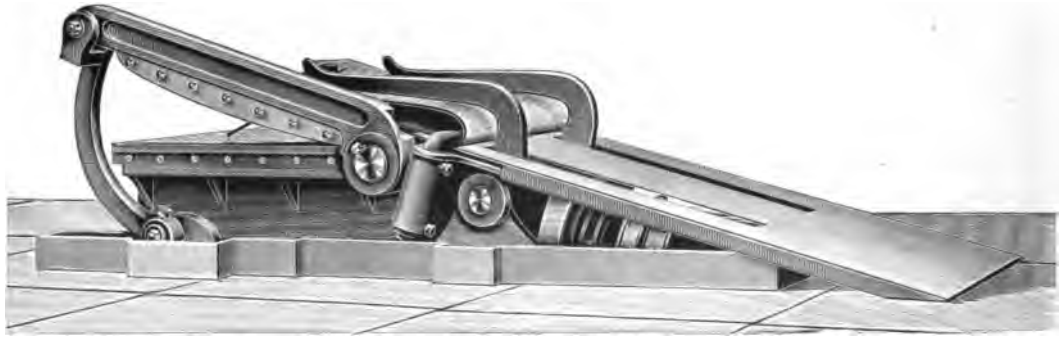


Abb. 110. Blechdoppler mit Hobelschere und Faltapparat. Maschinenfabrik Sack, G. m. b. H., Düsseldorf-Rath.

zwei oder mehrere Bleche gleichzeitig zwischen die Walzen zu stecken, d. h. die Bleche zu doppeln, und zwar wird dieses Doppeln entweder so ausgeführt, daß man eine entsprechende Anzahl einzelner Bleche zusammenlegt oder ein einzelnes Blech in einer besonderen Doppelmaschine (Abbildung 110) zusammenfaltet. Je dünner die zu erzielenden Bleche sein sollen, desto öfter muß das Doppeln wiederholt werden. Auch hierbei werden wieder Öfen zur Unterstützung des Walzbetriebes nötig, nicht nur allein, um zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen die Bleche auszuglühen bzw. zu erwärmen, sondern auch, um eventuell den Fertigblechen die Härte und Sprödigkeit wieder zu nehmen, welche sich bei der Bearbeitung in den niederen Temperaturen gebildet haben, mit denen hier wegen des raschen Abkühlens der dünnen Bleche gearbeitet werden muß.

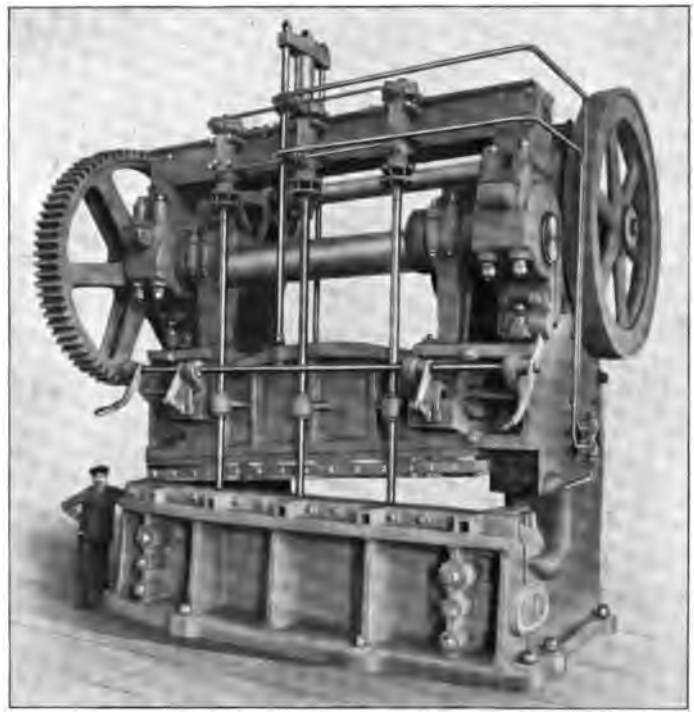


Abbildung 111. Ansicht einer schweren Transmissionsblechschere. Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

In solcher Form ist das Blech dann endlich das Ausgangsprodukt für die verschiedensten Arten der Weiterverarbeitung; zur Weißblechfabrikation (verzinntes Blech) beispielsweise dienen Feinbleche, die aus besonders zähem Material hergestellt werden müssen, damit sie beim Weiterverarbeiten durch Ziehen und Pressen nicht reißen. Verzinkte Bleche dienen zur Herstellung billiger Blechwaren und in der Form von Dachblechen und Wellblechen als Eindeckungsmaterial. Während das Verzinnen und Verzinken bisher durch Eintauchen der durch Beizen mit verdünnten Säuren gereinigten Bleche in geschmolzenes Zinn bzw. Zink erfolgte, wendet man in neuerer Zeit mit Vorteil hierfür elektrolytische Methoden an. Verbleite Bleche kommen als solche in den Handel; Bleche mit einem Überzug von Blei und Zinn sind unter der Bezeichnung „Mattbleche" bekannt.

In der Anlage für die Fertigstellung der Bleche sind wesentliche Vereinfachungen gegenüber den Adjustagen von Stabeisenwalzwerken möglich. Soweit die äußere Form der Bleche in Frage kommt, sind es wieder Scheren und eventuell Rollenrichtmaschinen, welche die maschinelle Einrichtung der Walzwerke vervollkommnen, und nur bezüglich dieser Scheren ergeben sich eigentlich neue Gesichtspunkte. In sehr schweren Ausführungen (Abbildung 111) machen sich die Nachteile des Exzenterantriebes mit der Anhäufung von Schwungmassen in der Übersetzung vom Antriebsmotor zur Exzenterwelle in steigendem Maße bemerkbar, besonders bei der Verwendung der unzureichenden Stein-Einrückung. Im Gegensatz zu den Scheren

im Stabeisenwalzwerk handelt es sich hier aber um eventuell sehr lange exakte Schnitte, entsprechend den vorgezeichneten Kanten der fertigen Blechplatte; ein Verlaufen des Messers kann nur schwer unter der Belastung durch momentane Ausrückung verhindert werden. Hier muß dann der hydraulische Antrieb zum Ersatz herangezogen werden, welcher außer der sicheren Beherrschung der Schnittbewegung zugleich eine weitgehende Anpassung des Preßwasserverbrauchs an den Kraftbedarf einer Mehrzylinderanordnung ermöglicht.

Es ist nun außerordentlich bemerkenswert, daß man auch in der Blechfabrikation schon zeitig an kontinuierliche Walzwerke gedacht und sich von ihnen eine Betriebsverbilligung, flotte Beschäftigung vorausgesetzt, versprochen hatte. Im gewöhnlichen Werdegang zum Feinblech bildet, wie erwähnt, die Platine eine Zwischenstufe, in welcher das Material nochmals erwärmt werden muß, bevor auf den Feinblechwalzwerken das Auswalzen auf 2 mm Stärke erfolgen kann und jene Stufe erreicht ist, in welcher das Doppeln der Bleche einzusetzen hat. Im Wittgenstein-Walzwerk (Abbildung 112) ist es versucht, die Zwischenstufe der Platine zu umgehen, ohne die mit ihr verbundene nochmalige Erwärmung das Blech sofort auf 2 mm aus-

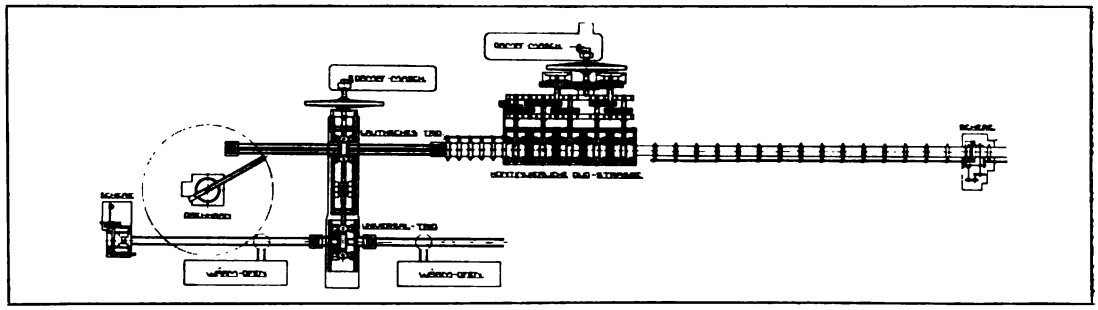


Abbildung 112. Wittgensteinsches Feinblechwalzwerk.

zuwalzen, und erst dann den langen Walzstreifen vor dem Doppeln in einzelne Tafeln zu schneiden. Den Literaturangaben entsprechend erhielt dafür ein Universaltrio einen Block von 400/300 bei 600 Länge, welchen es zu einem Blech von 50 mm Stärke und 1 m Breite auswalzen sollte; von diesem Blech gingen einzelne Stücke, auf der Schere unterteilt, nach einer Zwischenerwärmung zu einem Lauthschen Trio, erhielten dort 5 mm Dicke und wanderten dann sofort durch eine kontinuierliche Blechstraße, welche den 2 mm starken, sehr langen Blechstreifen erzeugte. Der Gedanke, derart die Platine zu umgehen, ist sicher richtig, wenn eine weitgehende Feinblechspezialisierung beabsichtigt ist, und die Anordnung ist dann ein interessantes Gegenstück zu den kontinuierlichen Drahtwalzwerken.

* * *

Die konstruktive Durchbildung der Universalwalzwerke für die einfachen rechteckigen Profile der Blechfabrikation ist nun zum Ausgangspunkt dafür geworden, auch Träger, also Stäbe mit komplizierten, jedoch völlig symmetrischen Profilen, anstatt in geschlossenen Kalibern zwischen anstellbaren Vertikal- und Horizontalwalzen zu erzeugen. Mit dem Walzen von Trägern in geschlossenen Kalibern (Abbildung 113) sind nämlich eine Reihe von walztechnischen Eigenarten verknüpft, welche sich bei großen Profilen unbequem geltend machen. Die Flansche werden

nicht wie die Stege mit direktem Druck gewalzt, sondern mit indirektem, d. h. mit seitlichem Verdrängen des Materials. Es ist klar, daß damit eine wenig günstige Behandlung des Materials verknüpft ist, um so mehr, als in den letzten Bearbeitungsstufen, wo gerade die saubere Ausbildung der Flansche erst erfolgen kann, der Stab schon merkbar abgekühlt und weniger plastisch ist. Je breiter, absolut genommen, die Flansche nun werden sollen, desto mehr wird der direkte Druck auf den Steg ein Voreilen desselben gegen die anschließenden Flanschenteile begünstigen, es entstehen unbrauchbare Enden neben Spannungen zwischen Steg und Flanschen, denen der Walzwerker größte Beachtung schenken muß. Aus allen diesen Gründen entsteht eine praktische Begrenzung für die Stegbreite bei etwa 17 cm, die Notwendigkeit eines erheblichen Anzugs der Flansche, welcher das Austreten des Stabes aus der tiefeingeschnittenen Walze erleichtern soll, und weiterhin eine für viele Verwendungszwecke unbequeme Begrenzung der seitlichen Festigkeit.

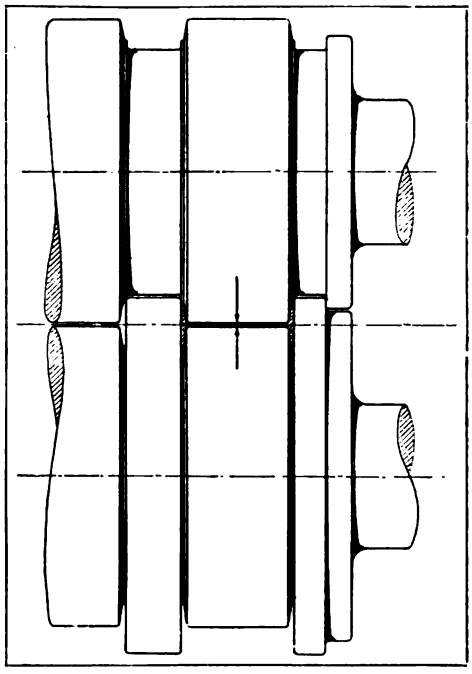


Abbildung 113. Kaliberwalzen für Träger.

Die Verwendung senkrechter neben den horizontalen Walzen, jedoch wegen der Notwendigkeit exakter Profilierung in einer gemeinsamen Walzebene (Abbild. 114), läßt die Geschwindigkeitsverhältnisse beim Austritt der Flansche und des Steges einzeln völlig beherrschen, und zwar durch genau zu ermittelnde Gesetzmäßigkeit zwischen dem Anstellen des vertikalen und horizontalen Systems einer Walzenanordnung „1". Die Flansche werden dabei in wesentlich größerer Breite ebenso wie die Stege unter direktem Druck gewalzt, und die Aufgabe einer Walzenanordnung „2" kann dann darauf beschränkt bleiben, an zylindrischen Bünden einfach die Breitung

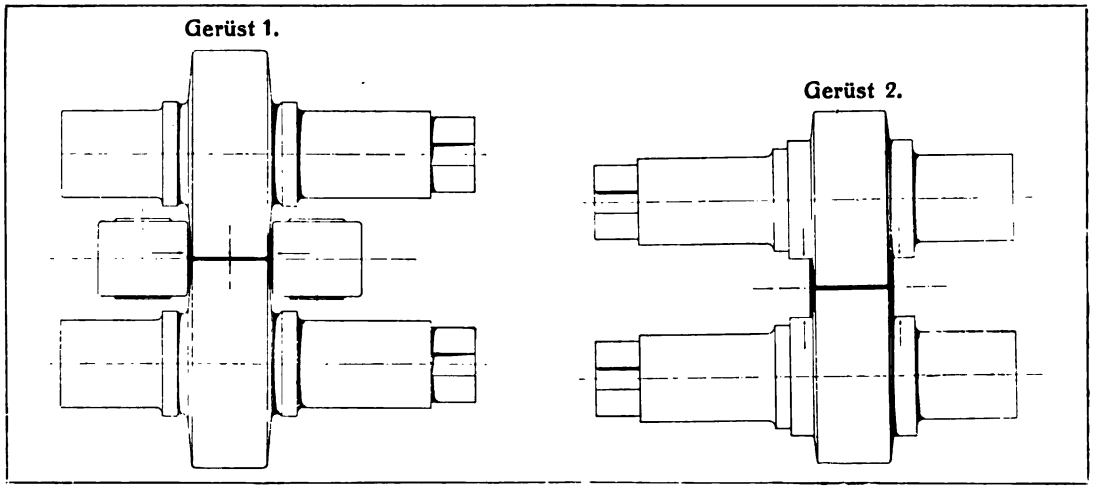


Abbildung 114. Schema der Greywalzen.

der Stege zu begrenzen, wieder ähnlich der Aufgabe der vertikalen Walzen bei Universalblechstraßen. Naturgemäß kann eine solche Walzenanordnung nur bereits vorprofilierte Stäbe erhalten, denn die Walzen müssen das innere Fertigprofil der Träger besitzen und können nur eine Verminderung der Materialstärke an Steg und Flanschen übernehmen; aber darin ist kein Nachteil, sondern eher ein Vorteil des ganzen Walzprinzips enthalten, da die rohe Vorprofilierung, d. h. das Einschneiden des halben Leerprofils auf jeder Seite des Stabes bei solcher Spezialerzeugung bereits in der Blockstraße erfolgen kann, also bei noch genügend hoher Blocktemperatur und unter besserer Behandlung des Materials.

Auf solchen Grundsätzen beruht die Ausbildung des Greywalzwerks (Abbildung 115, 116 u. 117); zwei Walzgerüste, deren Horizontalwalzen von einer gemeinschaftlichen Reversiermaschine angetrieben werden und zwischen welchen verschiebbare Führungsschienen das genaue Einführen des Stabes von einem Gerüst zum anderen sichern, enthalten die Walzenanordnungen 1 und 2. Die vertikalen Walzen übertragen als Schleppwalzen den Walzdruck auf je zwei in besonderen Traversen gelagerten Rollen, und diese Traversen sind ebenso wie die horizontalen Walzen von außen anstellbar. Diese Lagerung der vertikalen Walzen in relativ wenig veränderlicher Lage zu den Gerüsthälften, an denen sie befestigt sind, bedingt für diese Walzenständer verschiedene Entfernungen bei stark verschiedenen Trägerprofilen; der nötige Walzenwechsel wird dabei vereinfacht durch eine maschinell verschiebbare Anordnung der Gerüsthälften 1 auf ihren Rahmen. Die Anordnung des Gerüstes 2 neben dem Gerüst 1, in welchem der Walzprozeß für die Flansche ohne seitliche

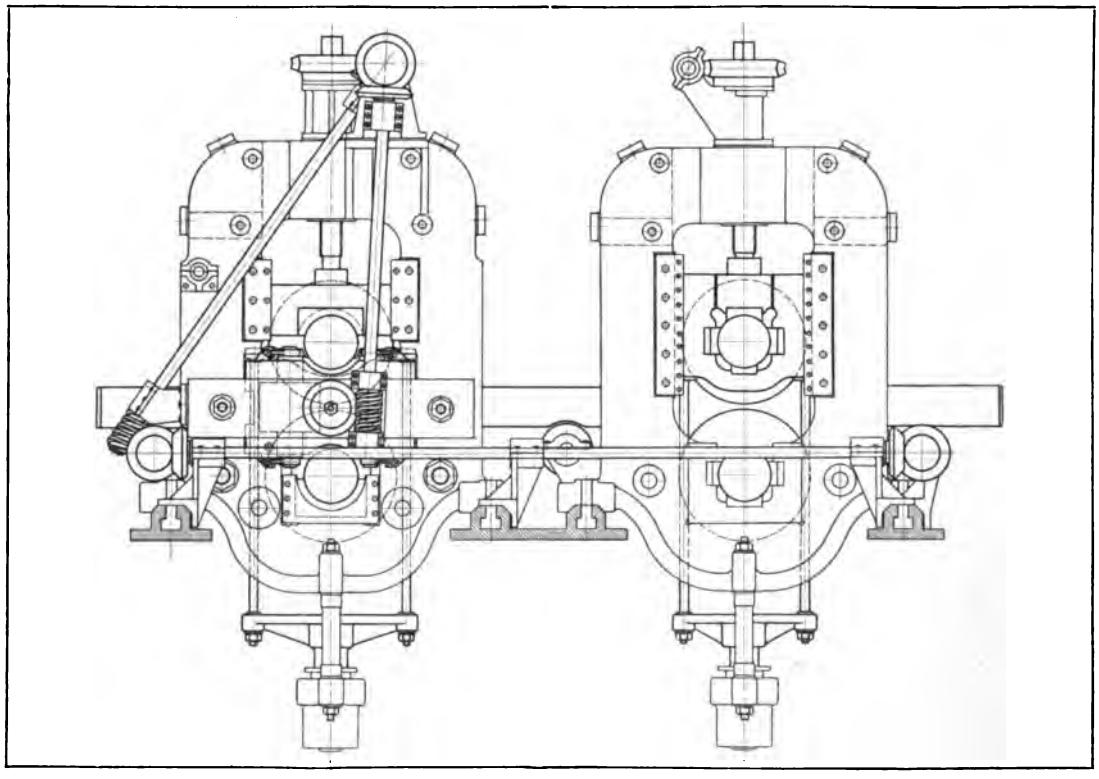


Abbildung 115. Greywalzgerüste.

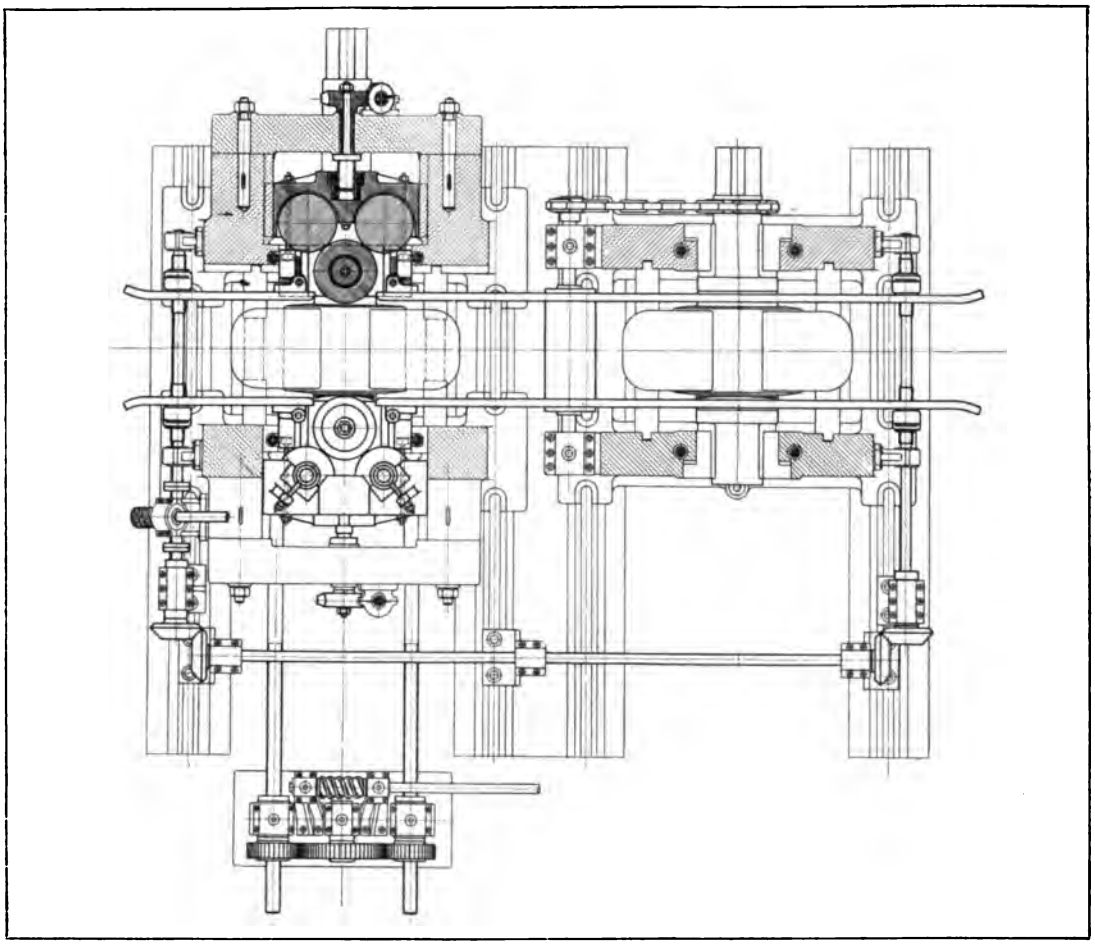


Abbildung 116. **Greywalzgerüste.**

Begrenzung stattfindet, sichert in einfachster Weise die völlige Symmetrie des Trägerquerschnitts, d. h. die genaue Lage des Steges in der Mitte des Flansches, eine Notwendigkeit, welche offenbar bei Universalwalzwerken für zusammengesetzte Profile besondere Beachtung fordert.

* *
*

Eine andere Spezialfabrikation, welche ebenfalls noch in das Programm eines Hüttenwerks gehört, betrifft die Erzeugung von Radreifen und Scheibenrädern für den Eisenbahnbedarf. Das Ausgangsprodukt bildet hierbei ein kurzer Block, dessen Werdegang in Abbildung 118 dargestellt ist, während Abbildung 36 Presse und Hammer zeigt, welche die erste Bearbeitung für den Radreifen übernehmen. Der Block wird zunächst in der Presse auf die ungefähre Höhe des Reifens gestaucht, gelocht und dann unter dem Hammer über einem Dorn allmählich erweitert, bis nach nochmaliger Erhitzung der Übergang auf ein Walzwerk möglich wird. Um einen ringförmigen Körper durch das Walzen im Querschnitt zu verkleinern, im Durchmesser

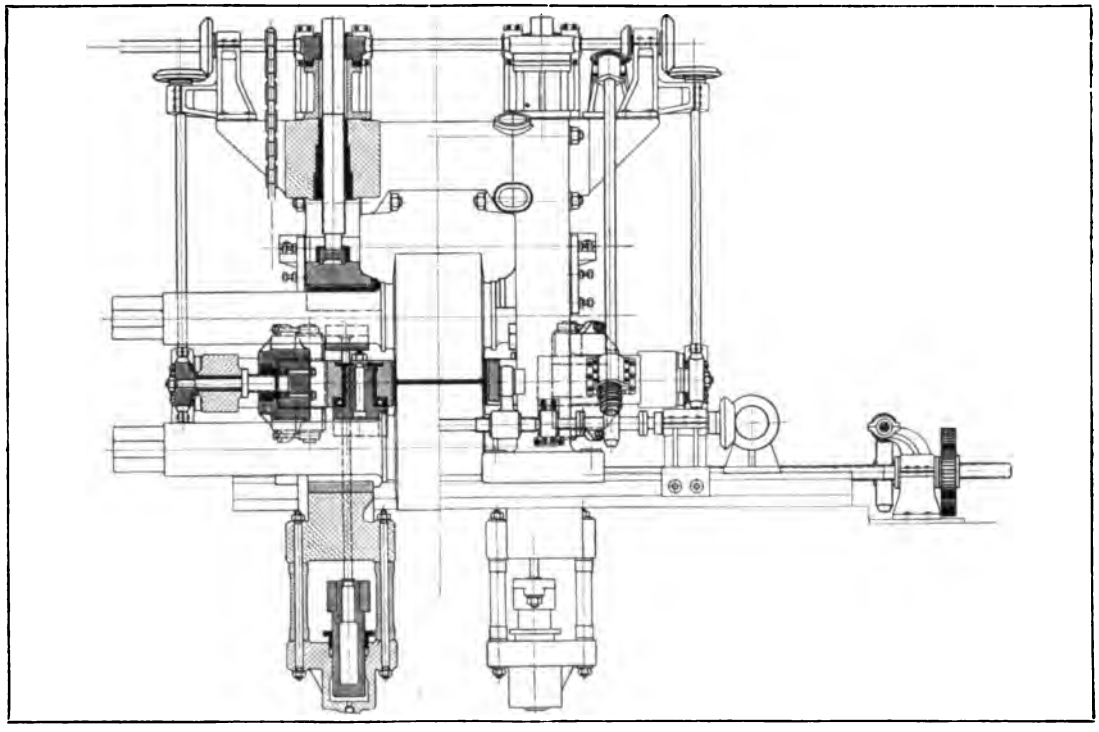


Abbildung 117. Greywalzgerüst.

vergrößern zu können, muß das Arbeitsstück von außen zwischen die arbeitenden Walzen eingelegt werden können. Die Walzen werden also dabei zu Kopfwalzen, welche seitlich aus dem Gerüst heraustreten und in älterer Anordung Abbildung 119 horizontal oder in neueren Walzwerken vertikal gelagert sind. Die älteren Ausführungen hatten hydraulisch anstellbare Unterwalzen und zeigten zwei Walzenpaare nebeneinander, eine Vor- und eine Fertigwalze; das Richten auf genaue Ringform konnte dabei einer Backenrichtmaschine übertragen werden, deren einzelne Teile gleichmäßig nach außen zu bewegen waren und den darübergestülpten Ring in die gewünschte Form zu bringen hatten. Die neueren Ausführungen besitzen nur ein paar senkrechte Walzen, neben welchen von Hand einzustellende Richtrollen gleichzeitig die genaue Kreisform des völlig aufliegenden Radreifens sichern, während durch Greifmaße der Durchmesser des Ringes selbst ständig kontrolliert werden kann.

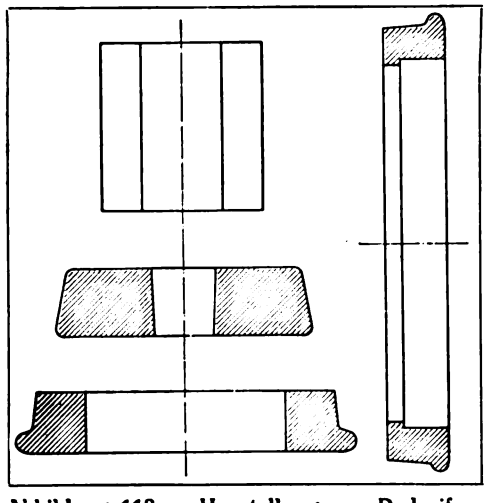


Abbildung 118. Herstellung von Radreifen.

Nach ähnlichen Grundsätzen geschieht die Herstellung der gewalzten Scheibenräder. Unter dem Hammer und der Presse oder der Presse allein wird die Vorstufe für das eigentliche Walzwerk ausgebildet und nach nochmaliger Erwärmung in Spezialöfen in einem

Walzwerk mit anstellbaren konischen Walzen Kranz und Scheibe fertiggewalzt (Abbildung 120, 121 u. 122), worauf unter einer Presse schließlich noch die Wellung der Scheibe erfolgt. Die notwendige hohe Produktionsfähigkeit einer solchen Anlage hat zu weitgehender Spezialisierung in der Ausbildung aller Einzelteile geführt; die Wirtschaftlichkeit des Antriebs wird in neueren Formen der Walzwerke durch den Ersatz der Dampfmaschine durch den Elektromotor verbessert.

5. RÖHREN-FABRIKATION

Endlich kann der hüttenmännische Großbetrieb auch die Fabrikation von glattwandigen schmiedeeisernen Rohren umfassen, welche wegen der steigenden Verwendung des Rohres in der Technik sowohl als im täglichen Leben einen immer größeren Umfang angenommen hat. Die Rohre werden entweder geschweißt oder nahtlos hergestellt, und sowohl der Durchmesser der Rohre als auch die Ansprüche in bezug auf die Festigkeit der Naht bestimmen dabei für die erste Gruppe die verschiedene Art der Schweißung. Die Schweißnaht bedeutet aber auf alle Fälle eine Schwächung im Rohrquerschnitt, und es ist selbstverständlich, daß innerhalb seiner Herstellungsgrenzen das nahtlos gewalzte Rohr den übrigen überlegen sein muß und für hohe Beanspruchung und bei weitgehenden Ansprüchen an Betriebssicherheit nur allein in Frage kommen sollte.

Abbildung 119. Ansicht eines alten Bandagenwalzwerks.

Für die Verwendung zu Gas- und Wasserleitungen sowie zu sonstigen Zwecken, bei welchen nur unbedeutenden Belastungen zu entsprechen ist, werden die Rohre mit lichten Weiten von etwa 1/8—2 Zoll und in Längen von 4—6 m mittels stumpfer Schweißung aus Blechstreifen erzeugt, an welche nur die Forderung guter Schweißbarkeit gestellt wird, und welche genau parallele und glatte Ränder besitzen müssen. Diese Blechstreifen werden zunächst im Schmiedefeuer an einem Ende erwärmt, mit einem Rundeisen verschweißt und zugleich von Hand ein kurzes Stück weit düten-

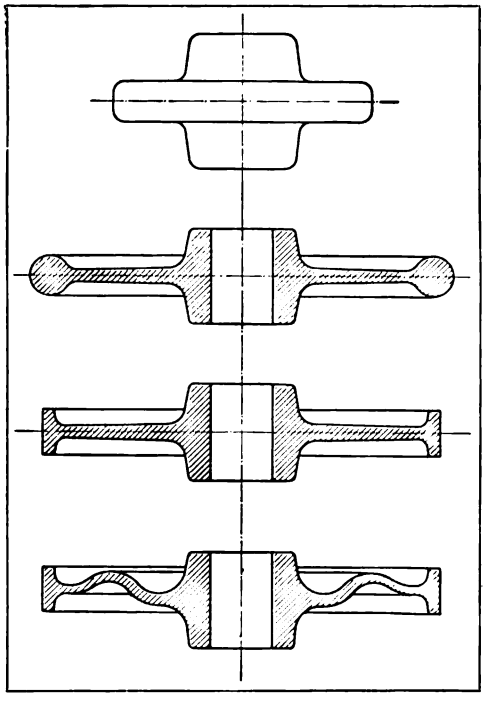


Abbildung 120. Herstellung von Radscheiben.

förmig zusammengerollt. Hierauf wird der Blechstreifen in besonderen Öfen in seiner ganzen Länge möglichst gleichmäßig auf Schweißhitze erwärmt, wobei nur das Ende des Rundeisens zum sicheren Erfassen des Streifens durch die Ofentür hervorragt. Die Rohrbildung erfolgt dann auf einer Ziehbank (Abbildung 123), auf welcher ein Zangenwagen nach seinem Einklinken in eine durchlaufende Zugkette das Rundeisen erfaßt, welches vorher durch eine abnehmbare Ziehdüse gesteckt wurde. Bis zur selbsttätigen Ausrückung des Zangenwagens in einem ersten Zug, dem Rundungszug, wird der Streifen dabei zunächst vorgerundet, ohne daß seine Ränder jedoch bereits verschweißen; erst nach wiederholter Erhitzung im Ofen wird diese Schweißung in einem zweiten und eventuell sogar dritten Zug durchgeführt, wobei die Düsen immer etwas kleineren Durchmesser erhalten, so daß sie schließlich einen Austrittsquerschnitt erreichen, welcher kleiner ist, als es der ursprünglichen Breite entsprechen würde, so daß also die Blechwände mit einer gewissen Stauchung zusammengeschweißt werden. Die Anordnung einer doppelten Ziehbank in Verbindung mit einem zweitürigen Ofen wird logisch nötig für rationelle Durchführung eines derartigen Stufenverfahrens; Regenerativfeuerung mit Querflammenführung sichert hohe gleichmäßige Temperatur im Ofen neben guter Gasausnutzung, und der elektrische Antrieb der Ziehbank muß in Neuanlagen den unwirtschaftlicheren Antrieb durch Transmissionen ablösen. In einem langsameren Kalibrierzug durch die scharfkantige harte Düse einer Kratzbank werden daraufhin geringe Abweichungen vom verlangten Durchmesser beseitigt sowie dem Rohr eine glatte Oberfläche verliehen; von Hand oder in Richtmaschinen wird endlich das fertige Rohr gerichtet, sodann beschnitten und unter Wasserdruck auf Dichtigkeit der Naht geprüft.

Die Eigenart dieses Ziehverfahrens mit tangentialem Schweißdruck (Abbildung 124), legt aber eine bestimmte Grenze fest sowohl für die Dimensionen der hiernach erzeugten Rohre als auch bezüglich der Qualität der Schweißung. Bei lichten Weiten über 2 Zoll hinaus erweist es sich bereits als schwierig, den Düsendurchmesser gerade so zu bemessen, daß ein genügender Druck zur Schweißung entsteht; ein zu hoher Seitendruck müßte zu Einknickungen der Wand führen, ein zu geringer dagegen ungenügende Vereinigung der Blechkanten an der Schweißstelle ergeben. Hand in Hand damit nimmt die Wandstärke, d. h. die Schweißfläche, gerade mit wachsendem Durchmesser des Rohres verhältnismäßig immer mehr ab; die Festig-

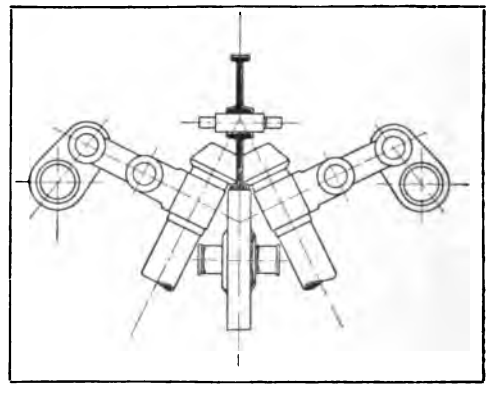


Abbildung 121. Radscheibenwalzwerk.

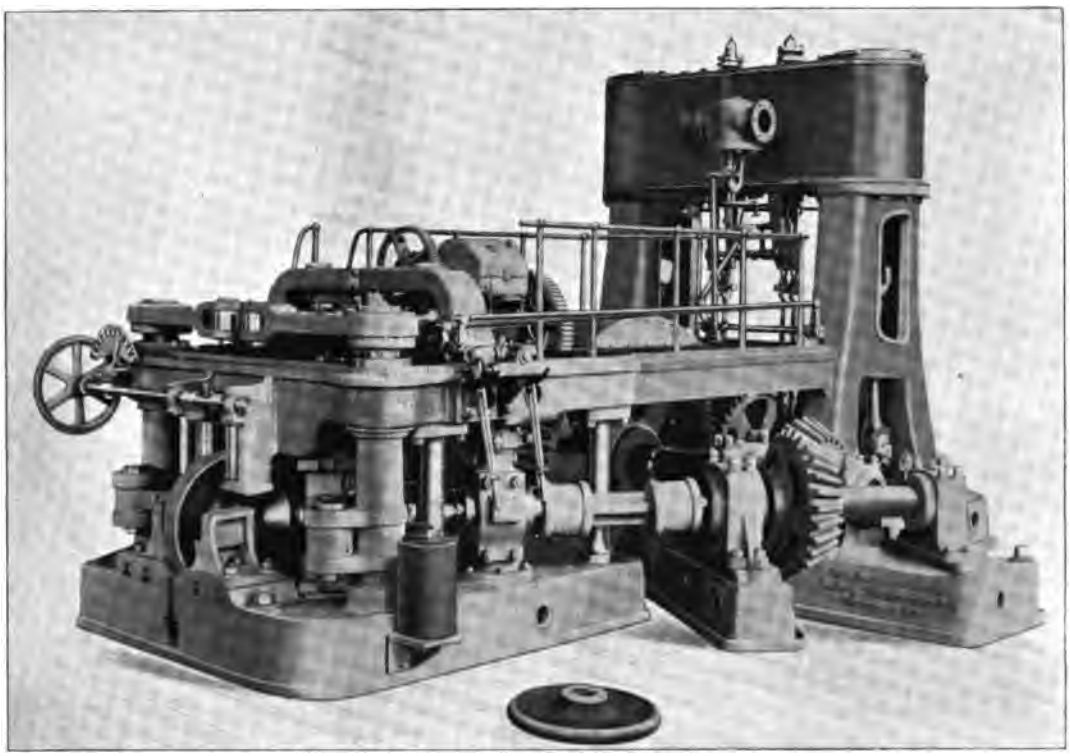


Abbildung 122. Ansicht eines Radscheibenwalzwerks mit Dampfbetrieb.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

keit der Schweißstelle schwankt deshalb ganz außerordentlich, und zwar bis zu Beträgen herunter, welche eine Verwendung der so erzeugten Rohre eben nur für untergeordnete Zwecke zulassen.

Werden an die Güte der Schweißung höhere Ansprüche gestellt, so muß das Verfahren gründlich geändert werden. Zunächst ist die Schweißfläche dadurch zu ver-

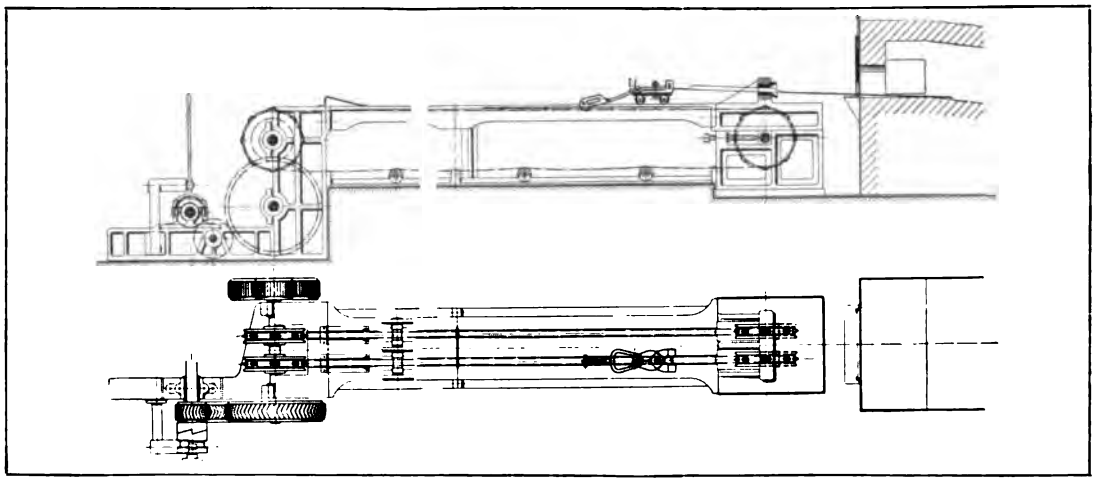
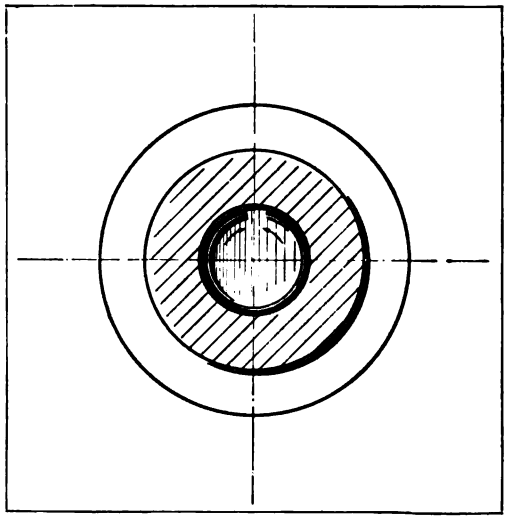


Abbildung 123. Ziehbank für stumpfgeschweißte Rohre.



Abbild. 124. Stumpfe Schweißung in der Ziehdüse.

größern, daß das Blech auf einer Kantenhobelbank eine vorherige Abschrägung an den Kanten erhält, welche von der stumpfen zur überlappten Schweißung übergehen läßt; dann aber muß der tangentiale Druck durch einen radialen ersetzt werden, um eine energischere Verdichtung der Schweißstelle zu erreichen. Diese radiale Einwirkung auf den Rohrquerschnitt ist aber nicht mehr in einer Ziehdüse und mit hohlliegendem Rohr möglich, sondern nur zwischen Walzen (Abbild. 125) und gegenüber einem an der Schweißstelle in das Rohr eingelegten Dorn, dessen Durchmesser bei unveränderlichem Kaliber der Walzen den Schweißdruck genau beherrschen läßt. Nur die Vorrundung zur allgemeinen Rohrform kann dabei noch auf einer Ziehbank erfolgen, die Schweißung selbst aber im Walzwerk.

Somit wird in gut eingerichteten Anlagen zunächst in einem Ofen besonderer Konstruktion der Streifen an einem Ende so weit erwärmt, daß er dütenförmig zugespitzt werden kann, um nach gänzlicher Erwärmung im gleichen Ofen, auf einer Ziehbank an eben diesem Ende von einer Zange erfaßt, in einer Ziehdüse die allgemeine Rohrform zu erhalten, jedoch nunmehr mit übereinander- statt nebeneinanderliegenden Rändern. Erst an diese Formgebung schließt sich dann der eigentliche Schweißprozeß an, für dessen richtige Durchführung sowohl gleichmäßige Erwärmung der Rohre, Reinhaltung der Schweißstelle im Ofen als auch entsprechende, dem Durchmesser anzupassende hohe Walzgeschwindigkeit maßgebend ist, um eben mit Sicherheit hochwertige Schweißung auf der ganzen Länge der Naht erreichen zu können. Die Schweißöfen, welche die vorgerundeten Rohre aufzunehmen haben, suchen durch mehrfache seitliche Feuerungen eine gleichmäßige Rohrtemperatur zu erzielen und besitzen im Interesse flotten und doch wirtschaftlichen Feuerungsbetriebes neben dem eigentlichen Schweißkanal, in welchem je ein Rohr vor der Schweißung selbst Aufnahme findet, einen Vorwärmraum, in welchem die Abgase des ersteren eine größere Anzahl vorzuwärmen vermögen. Im Walzwerk (Abbildung 126) wird von einer Stange ein auswechselbarer Dorn in der Walzebene entgegengehalten, sobald nach genügender Erhitzung das Rohr aus dem Ofen herausgezogen und zwischen die Walzen geschoben werden kann; hat das Rohr dann die Walzen verlassen, so fällt der Dorn ab, und das Ausziehen der Dornstange aus seinem Gegenlager nach rückwärts macht das Rohr frei. Dieses besitzt jedoch, obwohl es bereits geschlossene Naht aufweist, noch nicht die genügende Festigkeit an der Schweißstelle; wie beim Ziehen ist also auch hier der Arbeitsvorgang zu wiederholen. Aber im Walzwerk ermöglicht sich jetzt zugleich eine Streckung des

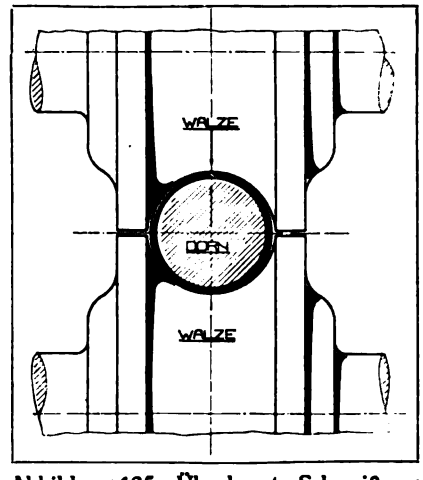


Abbildung 125. Überlappte Schweißung im Walzwerk.

ganzen Rohres, im Gegensatz zur Ziehbank, welche dafür zu große Kräfte aufwenden müßte, denen das von der Zange erfaßte hocherhitzte Rohr eventuell nicht mehr gewachsen wäre. Diese allgemeine Streckung, erreicht durch allmähliche Vergrößerung des Dorndurchmessers und wiederholtes Durchwalzen nach jedesmaligem Wenden des ganzen Rohres vor dem erneuten Erhitzen, muß sich unbedingt als günstig erweisen angesichts des Umstandes, daß auch an der Walznaht selbst entsprechend dem Charakter der Überlappung mit einer gewissen Materialverdrängung in der Längsrichtung des Rohres zu rechnen ist. Eine möglichst gleichmäßige Bearbeitung des Rohrquerschnitts und gleichmäßige Wandstärke wird dabei angestrebt durch eine bestimmte Form des Kalibers gegenüber dem runden Dorn und durch Versetzen des Rohrquerschnitts um etwa 60° bei jedem weiteren Durchgang; nur beim ersten

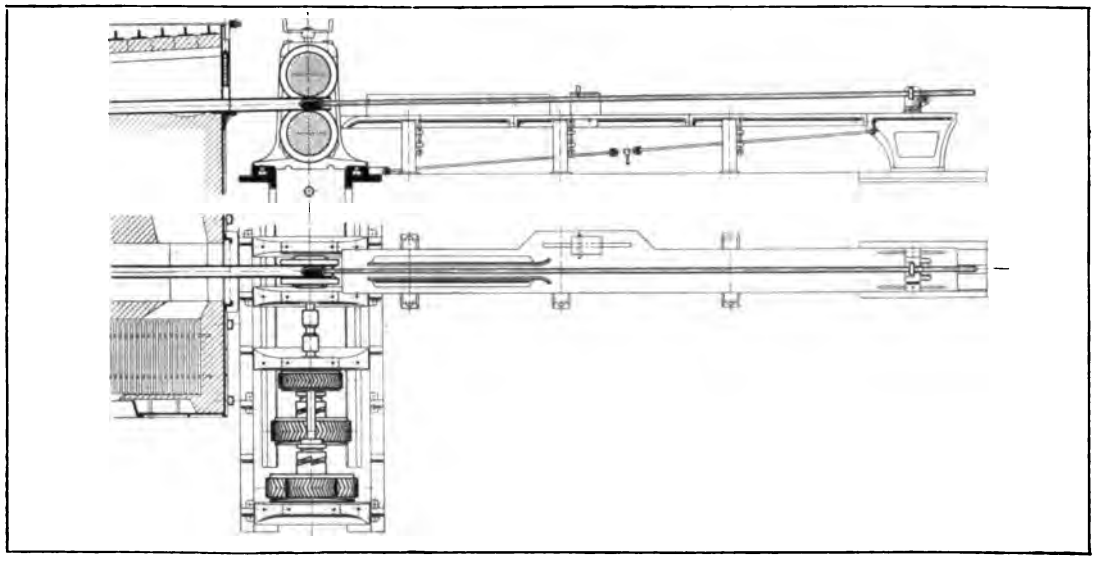


Abbildung 126. Walzwerk für überlappt geschweißte Rohre.

Stich liegt die Schweißfuge direkt oben und unter der Einwirkung vollen Druckes durch die Walzen.

Auch diese überlappten, sogenannten „patentgeschweißten" Rohre werden nach der Fertigwalzung noch einem Kratzzug unterworfen und dabei sowohl kalibriert als auch von anhaftendem Glühspan befreit; von Hand oder in Richtmaschinen gerichtet gelangen die kalibrierten Rohre zu Abstechbänken und zu einer Wasserdruckprobe auf 25—50 Atm., bevor im Gesenke und unter kräftigem Druck gegenüber einem eingelegten Dorn die Bünde zur Flanschbefestigung aufgeschweißt werden. Das Verfahren ergibt naturgemäß wesentlich bessere Schweißungen als das vorige, und die hiernach hergestellten Rohre können mit äußeren Durchmessern von 1½ bis 16 Zoll auch für höhere Drücke Verwendung finden, wobei die Festigkeit der Naht mit 80—85 % der normalen vorausgesetzt werden kann; für noch größere Sicherheit bezüglich der Nahtfestigkeit wird ein derartiges Schweißverfahren kaum auszubilden sein, und über 16 Zoll Durchmesser hinaus ergeben sich zugleich wesentliche Schwierigkeiten betriebstechnischer Art. Die Handhabung der größeren Rohre würde zu umständlich, der Kraftverbrauch der Walzwerke zu groß, die Ofenanordnung zu weitläufig und endlich das gleichmäßige Erhitzen des ganzen Rohres zu zeitraubend und

unwirtschaftlich. Dagegen wird es von einem bestimmten Durchmesser ab möglich, den Hohlkörper so zu bilden, daß man die Rohrnaht allein stückweise in Wassergasflammmen auf Schweißglut erhitzt und sofort, wieder stückweise, unter rasch schlagenden Hämmern oder unter Pressen verschweißt und verdichtet.

Solche „wassergasgeschweißten" Rohre werden, zunächst kalt oder mäßig vorgewärmt, auf besonderen Blechbiegemaschinen mit verstellbaren Leitwalzen überlappt vorgerundet. Sodann gelangen sie mit obenliegender Naht auf eine Schweißstraße, welche zwischen Brennern und Hämmern eine bequeme Längsverschiebung des Rohres gestattet, werden hier stückweise unter äußerer und innerer Flamme aus Brennern, welche an langen Auslegearmen angeordnet sind, zunächst auf saftige Schweißhitze gebracht und darauf zu einem daneben angeordneten Hammer verfahren, welcher gegen einen innen vorgelegten Amboß mit raschen Schlägen die Schweißung vollendet.

Dadurch nun, daß im Brenner durch reduzierende Flammen eine völlig reine Schweißfläche gesichert werden kann, daß die beiderseitige Brenneranordnung gute Schweißungen zu beiden Seiten der Rohrwandungen begünstigt, daß ferner für die Erhitzung und Schweißung jeweils nur ein kleines Stück der ganzen Naht in Frage kommt, welches sich entsprechend gut bedienen und kontrollieren läßt, werden bei diesem Verfahren vorzügliche Schweißungen möglich mit Nahtfestigkeiten von 90% und darüber. Die Materialspannungen, welche bei der lokalen Erwärmung der Schweißstelle gegenüber dem sonst kalten Rohr entstehen müssen, werden durch eine nachfolgende Erwärmung im Glühofen beseitigt, in großen Walzenrichtmaschinen endlich das fertige Rohr gerundet und geglättet.

Neben diesen Verfahren, große Rohrkörper herzustellen, findet ein anderes steigende Verwendung, dasjenige der Autogenschweißung. Es besteht darin, daß zunächst die zusammenstoßenden Blechkanten der Naht beide eine Abschrägung nach außen erhalten und somit dort eine Rinne ergeben, deren Ränder in einer Wasserstoff-Sauerstoff- oder Azetylen-Sauerstoffflamme angeschmolzen und in diesem Zustande mit einem Verbindungsmittel, einem eingelegten oder ebenfalls abschmelzenden Stab, vereinigt werden können, welcher also gewissermaßen die Stelle eines Lotes übernimmt. Bei der Bewertung dieses Verfahrens darf aber nicht übersehen werden, daß man es mit keinem eigentlichen Schweißverfahren mehr, sondern mit einem lokalen Schmelzprozeß zu tun hat. Es ist zu erwarten, daß die Materialeigenschaften des Bleches hierdurch an der Verbindungsstelle ungünstig verändert werden können, und es wird sich zum mindesten empfehlen, das Material an der Naht nach dem Schmelzen durch die Bearbeitung unter dem Hammer oder der Presse wieder energisch zu verdichten; auch wird die Beseitigung innerer Spannungen bei diesem autogenen Schmelzverfahren durch nachfolgendes Ausglühen des ganzen Rohres noch viel nötiger erscheinen als beim Schweißen gewöhnlicher Art. Die Ergebnisse der letzten Versuche von Bach, z. B. Abbildung 127, reden eine deutliche Sprache und lassen erkennen, daß neben vorzüglicher Vereinigung der Rohrkanten auch sehr schlechte Stellen der Naht vorkommen, daß also deren Sicherheit in noch höherem Maße als früher von der Gewissenhaftigkeit der Fabrikation abhängig ist.

Allen diesen Verfahren, welche an sich den Bedarf an Rohren verschiedenster Dimensionen und Formen völlig zu decken vermögen und welche in modernen Anlagen bereits zu vorzüglichen Spezialeinrichtungen geführt haben, ist es gemeinsam, daß das fertige Rohr eine Naht besitzt; zu den Fehlern, welche eventuell im Material selbst enthalten sind, können also noch solche hinzukommen, welche mit ungleichmäßiger Beschaffenheit der Blechkanten, mit unrichtiger Schweißhitze und ungenügen-

der Verdichtung der Schweißnaht zusammenhängen. Mit absoluter Sicherheit wird die Festigkeit des Rohres an der Naht niemals gleich derjenigen im übrigen Material gesetzt werden dürfen. Handelt es sich daher um Verwendungszwecke, welche entweder von vornherein anderes Material verlangen als solches, welches die eben erwähnten Schweißverfahren mit hauptsächlichster Rücksicht auf gute Schweißbarkeit bedingen, oder um Verwendungszwecke, bei welchen Rohrdefekte katastrophalen Charakter annehmen müßten, dann wird an die Stelle des überlappt geschweißten Rohres in denselben Durchmesserverhältnissen das nahtlose Rohr treten müssen. Seine Herstellung ist aus beliebig hartem Stahl möglich, seine Festigkeit eine so gleichmäßige, wie sie nach dem heutigen Stande der Flußeisenerzeugung überhaupt erreichbar erscheint, und das Ausgangsprodukt der Rohrerzeugung ein Flußeisenblock, welchen direkt das Stahlwerk selbst zu liefern vermag.

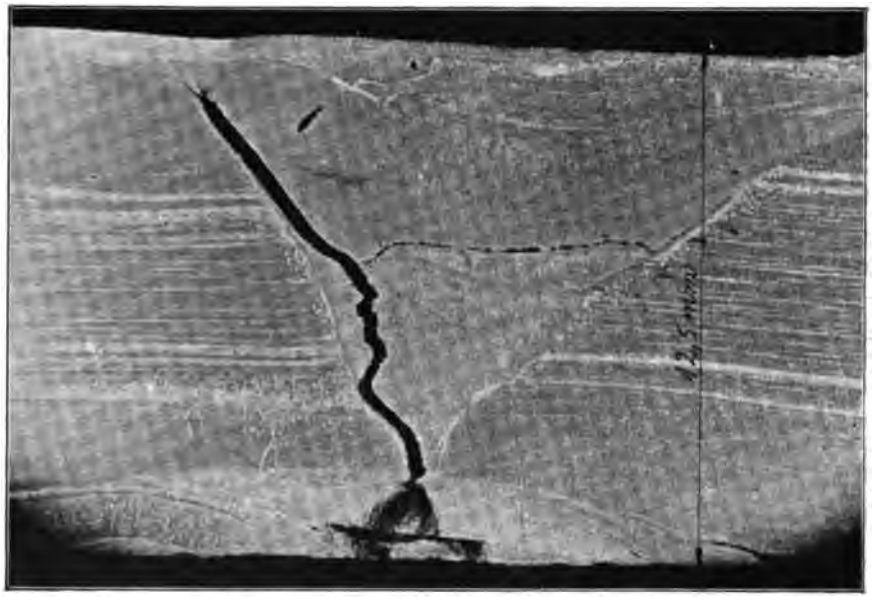


Abbildung 127. Schnitt eines autogen geschweißten Stückes. (Nach Bach.) (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Berlin.)

Alle Erzeugungsarten für nahtlose Rohre zeigen drei scharf getrennte Abschnitte; in einer ersten Stufe wird aus vollem Block ein noch verhältnismäßig kurzer rohrförmiger Körper erzeugt; in einer zweiten Bearbeitungsstufe wird dieser dickwandige Körper zum dünnwandigen Rohr ausgestreckt, und in einer dritten Stufe endlich wird durch Ziehen auf Ziehbänken, meist im kalten Zustande, das genau runde und exakt kalibrierte fertige Rohr erreicht.

Zunächst ist es möglich, das rohrförmige Endprodukt der ersten Erzeugungsstufe durch Dornen eines vollen Blockes zu erzielen. Soll dabei kein oder nur geringer Materialverlust auftreten, so muß offenbar eine Materialverdrängung von innen nach außen stattfinden, welche möglich wird bei Verwendung eines runden Gesenkes, in welchem der vierkantige Rohblock zum Zwecke des Dornens Aufnahme finden kann; die Materialverdrängung unter Ausfüllen des zylindrischen Gesenkes erfolgt in voller Hitze mit geringstem Nachteil für die Materialeigenschaften. Ein erster Preßdruck kann dabei einen zylindrischen, vorn zugespitzten Stempel von beiden Seiten so weit in den Block eintreiben, daß im Innern noch eine dünne Platte stehenbleibt; ein zweiter Preßdruck stößt diese Platte durch und bildet damit den Hohlkörper (Wittener Verfahren). Dieser Hohlblock, die Rohrluppe, geht nun in das Vorgerüst eines Duowalzwerks, welches neben- oder hintereinander durch eine Reihe von

offenen Ovalkalibern und über Dorne, ganz ähnlich dem Walzverfahren für überlappt geschweißte Streifen, das Rohr streckt und es in einer zweiten Hitze einem Feingerüst überläßt, welches das Rohr bis auf geringe Abweichungen in den Durchmessern fertigstellt. Die Kaliber der aufeinanderfolgenden Stiche sind schwach oval, um Gratbildungen auf der Rohroberfläche zu vermeiden; die Rohre werden nach jedem Stich über die Oberwalzen zurückgereicht und vor jedem Stich um etwa 90° gedreht, um eine gleichmäßige Bearbeitung und Rundung des Rohrquerschnitts zu erreichen. Zur völligen Fertigstellung schließt sich für beste Rohrsorten das Ausglühen der unterdessen hart gewordenen Rohre mit nachfolgendem Beizen an, sowie eine exakte äußere und innere Kalibrierung durch Kaltzüge auf einer Ziehbank, entweder über genaue runde polierte Stangen, welche mit dem Rohr zusammen durch die Ziehplatte wandern, oder über einen Dorn, welchen eine Stange im Zugquerschnitt festhält. Nur durch die Anordnung dieser auf Zug beanspruchten Dorne innerhalb der Ziehplatte unterscheidet sich konstruktiv eine solche Ziehbank von denjenigen, welche ohne Dorn stumpfgeschweißte Rohre herstellen; das kalte Material ist hier imstande, auch große Zugkräfte zu übertragen.

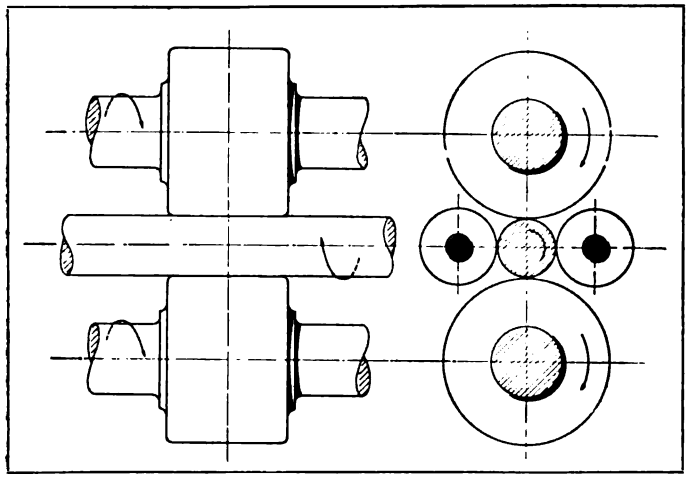


Abbildung 128. Schema paralleler Walzen.

Während dies Verfahren erst in den letzten Stufen zum Ziehen greift, stellt das Ehrhardtsche Verfahren bereits nach dem Dornen des Blockes das Ausgangsprodukt der zweiten Stufe durch Ziehen her, anstatt durch Walzen im Kaliberwalzwerk. Infolgedessen erfolgt das Dornen der ersten Stufe nicht von beiden Seiten des Blockes, sondern nur von der einen, so daß ein massiver Boden bestehen bleibt. Auf einer hydraulischen Rohrpresse drückt dann ein Stempel unter sorgfältiger Erhaltung des Bodens die Rohrluppe durch eine Reihe hintereinanderstehender Matrizen hindurch, wodurch die Wandstärke des Rohres immer kleiner, seine Länge immer größer wird, während der innere Durchmesser durch die Stempelstärke festgelegt ist. Hier sind es Schwierigkeiten bezüglich der Stempelführungen, welche schließlich die Höchstlänge des Rohres begrenzen, während beim Walzen in Kalibern die Dornstangen bestimmte Rohrlängen nicht überschreiten lassen, besonders wenn sie während des Walzens auf Knickung beansprucht werden.

Das Mannesmannsche Verfahren endlich weicht sowohl in der ersten wie auch in der zweiten Stufe grundsätzlich von den beiden vorbezeichneten Verfahren ab. Es behält wohl das Ziehen in der dritten Stufe bei, aber bereits die Rohrluppe wird durch Walzung hergestellt, das Rohr der zweiten Stufe ebenfalls, aber nicht in den vielen Stichen eines Kaliberwalzwerks, sondern beim einmaligen Durchgang durch ein Walzwerk besonderer Art, welches ruckweise einzelne Rohrteile vom Ausgangs- zum Endquerschnitt auf einmal überführt, anstatt in kleinen und oft wiederholten Unterteilungen der gesamten Querschnittveränderung.

In beiden Anfangsstufen ist Mannesmann zu eigenartigen konstruktiven Lösungen gekommen; in der ersten Stufe wird die Rohrluppe zwischen Schrägwalzen erzeugt, in der zweiten das Rohr durch Pilgern bzw. Aufwalzen im Scheibenwalzwerk. Die interessanten Vorgänge zunächst des Schrägwalzverfahrens werden an Hand der nachfolgenden Abbildungen verständlich.

Denkt man sich einen zylindrischen vollen Block parallel zu zwei unter sich wieder völlig parallelen zylindrischen Walzen und in dieser Lage von seitlichen Führungswalzen gehalten (Abbildung 128), so wird bei der Drehung der Walzen in gleichem Bewegungssinne — hier ein grundsätzlicher Unterschied gegenüber dem gewöhnlichen Duowalzwerk — der runde Block in seiner Lage einfach gedreht. Werden aber nun die Achsen der Walzen in Ebenen, parallel derjenigen, in welcher der Block mit seinen Führungsrollen liegt, symmetrisch nach entgegengesetzten Seiten verschoben und damit windschief zur Blockachse (Abbildung 129), so entstehen an den Berührungsstellen zwischen den Walzen und dem Block Reibungskräfte, welche nicht mehr senkrecht zu dessen Achse wirken, sondern neben einer Drehkomponente eine Schubkomponente ergeben. Unter Drehung um seine Achse würde dann ein solcher zylindrischer Block durch die Walzen hindurchgezogen, und dieses Prinzip benutzen seit langem die Walzenrichtmaschinen für Rohre und Rundstäbe. Wenn nun aber diese Fortbewegung des ganzen Blockes gehindert wird und das Material in Schweißhitze genügend plastisch ist, so müssen diese am Umfang des Blockes wirkenden Kräfte versuchen, den vor dem Angriffsquerschnitt bleibenden freien Raum zwischen den Walzen mit Material auszufüllen, welches sie dem Block entziehen, d. h. sie werden drehend eine Rohrbildung veranlassen, besonders wenn die Walzen in ihren aktiven Zonen aufgerauht oder mit schraubenförmigen Nuten versehen sind.

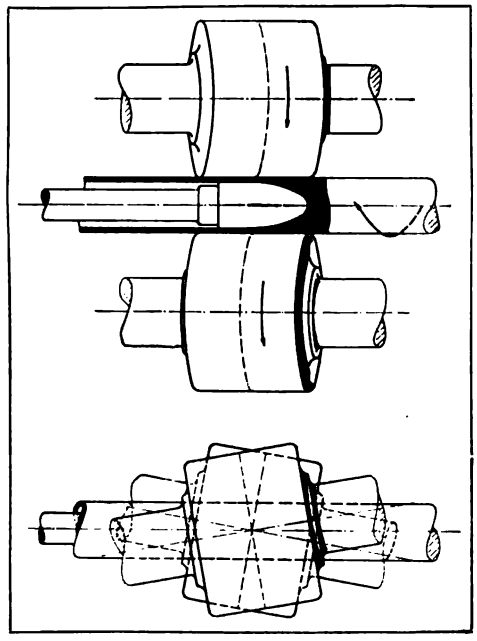


Abbildung 129. Schrägwalzwerk mit zylindrischen Walzen.

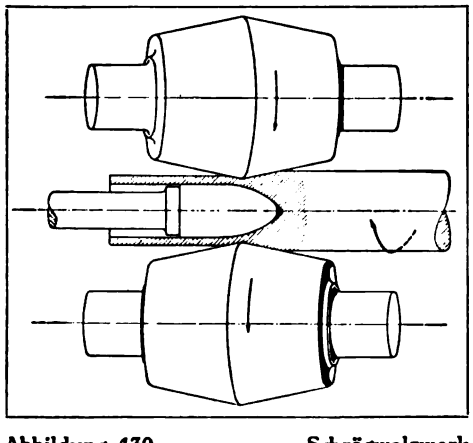


Abbildung 130. Schrägwalzwerk mit konischen Walzen.

Prinzipiell ist es nun auf verschiedene Arten möglich, den Block so zurückzuhalten, daß diese Rohrbildung eintreten muß; entweder kann bei zylindrischen Walzen ein Dorn sich gegen den Kern des Blockes legen, oder die Walzen werden selbst konisch ausgebildet, so daß der dickere Rohblock an der Eintrittsseite vor den Walzen sich selbst sperrt (Abbildung 130 u. 131). In dieser letzteren Anordnung könnte ein Dorn theoretisch erspart werden; wenn trotzdem ein solcher auch hierbei Anwendung findet, dann geschieht es mit Rücksicht darauf, daß er sowohl zu einer völlig glatten Innenfläche der Rohrluppe

beitragen kann als auch bei richtiger Bemessung seines Durchmessers zu einer wesentlichen Materialverbesserung durch Druckwirkung auf das austretende Material. Dieses wird in schraubenförmigen Streifen vom vollen Block losgerissen, allerdings kontinuierlich und in hoher Temperatur; aber trotzdem wird es den Materialeigenschaften des Rohres sehr zugute kommen, wenn nach dieser Lostrennung der einzelnen Materialteilchen aus dem Kern in genügend hoher Temperatur und bei innerem Luftabschluß durch einen Stopfen dieser gegenüber den Walzen eine energische Druckwirkung ermöglicht. Die Schnelligkeit dieser Vorgänge ermöglicht die Weiterverarbeitung der Rohrluppe in gleicher Hitze zum Rohr; anderseits ist sie aber naturgemäß die Ursache zu sehr hohem Kraftverbrauch des Walzwerks, welcher wohl als Grund-

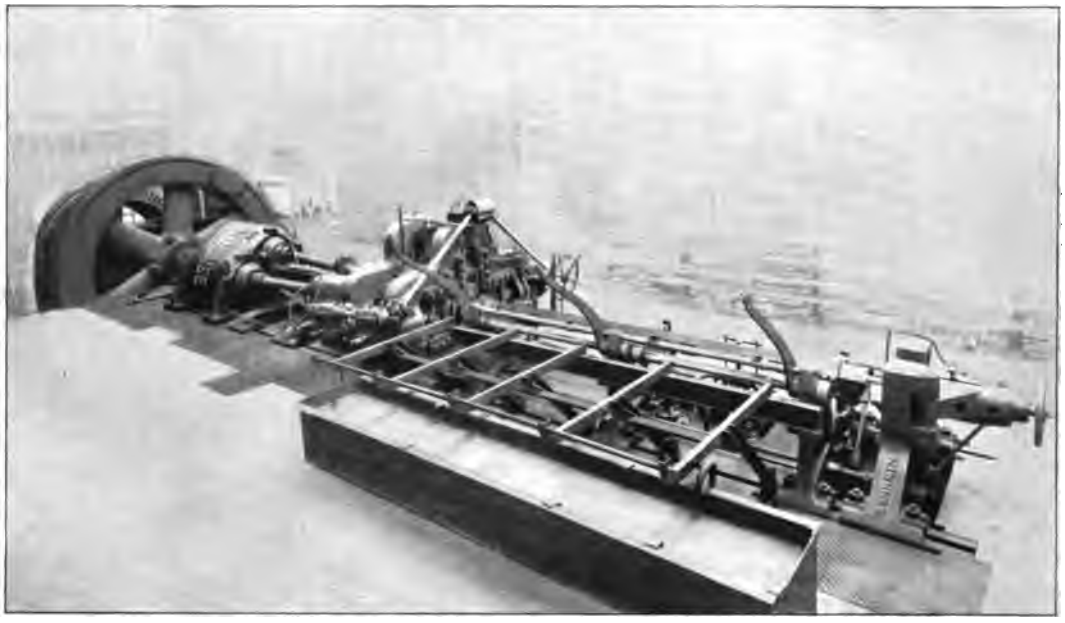


Abbildung 131. Ansicht eines Rohrwalzwerks.
Gebaut von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg.

lage für die Rentabilität dieses Verfahrens flotte Produktion und völlige Ausnutzung der Erzeugungsfähigkeit der Anlage in erster Linie vermuten läßt.

Handelt es sich nun zum Beispiel darum, aus der Rohrluppe ein im Durchmesser größeres, in der Wandstärke dafür kleineres Rohr zu erzeugen, so kann diese Umwandlung über einem Dorn und zwischen Scheibenrädern vorgenommen werden (Abbildung 132), welche entweder wieder selbst durch entsprechende Verlagerung ihrer Wellen die Fortbewegung des Rohres übernehmen oder diese einer äußeren Einrichtung überlassen. So einfach der Gedanke eines solchen Aufwalzens erscheint, so große Schwierigkeiten werden sich wieder ergeben hinsichtlich des Kraftverbrauchs und der dauernd richtigen Lagerung der beiden Rohrenden und des Dorns gegenüber den Walzen, besonders bei kleinen Ausführungen.

Zur Verringerung des Rohrdurchmessers anderseits könnte naturgemäß ein Herunterwalzen in Kalibern über Dornstangen benutzt werden; aber auch bezüglich dieser zweiten Stufe des allgemeinen Verfahrens ist Mannesmann, wie bereits erwähnt, eigene Wege gegangen. Anstatt das ganze Rohr durch mehrere Stiche hinter-

einander zu schicken, bis es die gewünschten Abmessungen erlangt hat, wird es hier im Pilgerschrittwalzwerk bei einem einzigen Durchgang fertiggewalzt, allerdings nicht in kontinuierlichem Durchgang, sondern ruckweise in einzelnen Abschnitten vor- und daraufhin fertiggewalzt. Das Rohr muß also unter entsprechender Drehung, ähnlich derjenigen im Kaliberwalzwerk, vor jedem neuen Stich wiederholt mit einem gewissen Abschnitt in die Walzebene eintreten; anderseits aber entfällt theoretisch bei diesem Walzverfahren eine Begrenzung der Rohrlänge mit Rücksicht auf die Dornstange, denn diese wandert nunmehr mit dem Rohr gleichzeitig durch die Walzebene hindurch. Die Walzen solcher Pilgerschrittwalzwerke haben drei Zonen (Abbildung 133); eine erste Zone ist zylindrisch, und sie walzt mit entsprechender Kaliberform den vorher gebildeten konischen Übergang des Rohres vom Anfang- zum Endquerschnitt fertig, Rohr und Dorn dabei aus den Walzen herausschiebend; eine zweite nachfolgende Zone der weiterlaufenden Walzen ergibt wieder einen konischen Übergang für das nachfolgende Rohrstück, und um eben dessen Länge muß das Rohr unter einer dritten Zone des Walzenumfangs, einer zurückspringenden Aussparung, zurückgeführt werden; dabei bleibt das Rohr den Walzen gegenüber völlig freibeweglich, so daß es von besonderen äußeren Anstellvorrichtungen verdreht und mit dem Übergangskonus wieder vor die Walzebene geschoben werden kann. Wenn dieses Pilgerschrittwalzwerk mehrere Kaliber nebeneinander erhält, können sie so gegeneinander versetzt sein, daß der Antrieb gleichmäßiger ausgenutzt wird; die Produktionsfähigkeit wird damit wieder eine sehr hohe, aber dem Walzwerk wird ersichtlich ein gewissenhafter Konstrukteur ebensosehr zur Bedingung wie dauernd flotte Beschäftigung.

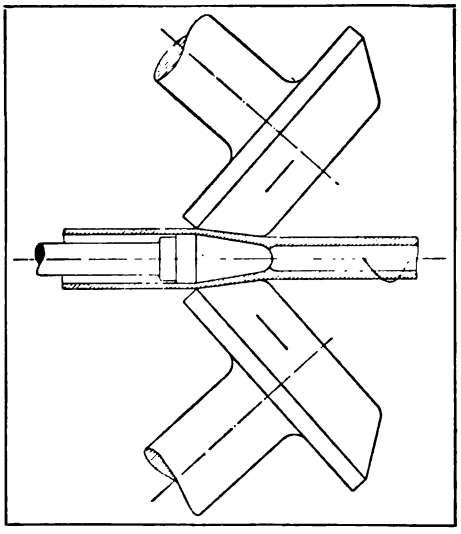


Abbildung 132. Scheibenwalzen für Rohrwalzwerke.

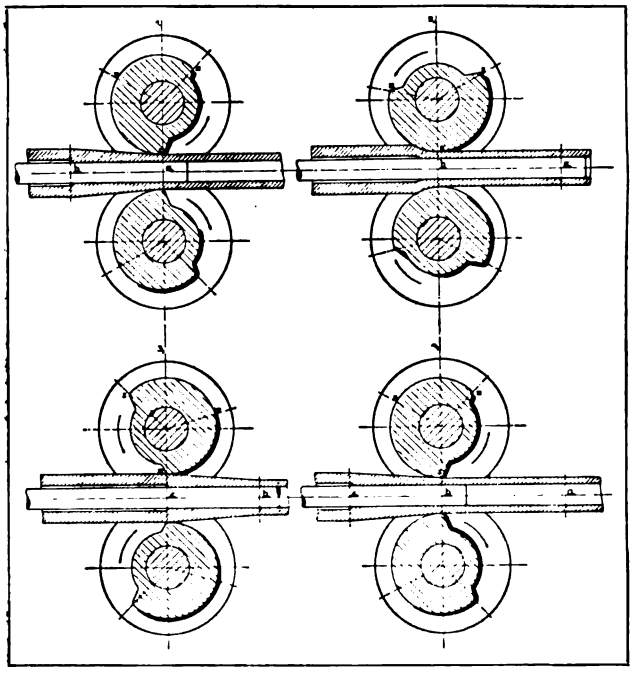


Abbildung 133. Walzung im Pilgerschritt.

6. DRAHTZIEHEREI

Die Verfeinerung des Walzdrahtes, die letzte in diesem Zusammenhange zu erörternde Stufe der Verarbeitung schmiedbaren Eisens, gehört eigentlich nicht mehr zum hüttenmännischen Betrieb; sie ist in den meisten Fällen wohl einer eigentlichen Drahtindustrie angegliedert,

welche für ihre verschiedenen Erzeugnisse gezogenen Draht benötigt und ihn im eigenen Betrieb erzeugen muß. Das Ausgangsprodukt ist dabei der von auswärts bezogene „Knüppel", welcher auf Drahtwalzwerken zu Drähten von 13—5 mm ausgewalzt wird; das Bestreben, diesen Ausgangsdraht im eigenen Betrieb möglichst billig zu erhalten, wird zu kontinuierlichen Straßen führen mit hoher Produktionsfähigkeit und geringer Bedienungsmannschaft, zu sorgfältiger Energie und Wärmewirtschaft in Antriebsmaschinen und Öfen. Dieser Draht wird dann auf Ziehbänken besonderer Bauart, in seiner ganzen Länge sich auf- und wieder abspulend, durch die Löcher von Zieheisen gezogen und dabei nach Maßgabe einer gewissen Kalibrierung verjüngt, wobei die Ziehlöcher in größerer Anzahl auf einzelnen Platten untergebracht sind und düsenförmigen Querschnitt besitzen.

Die benötigte Kraft ist auch hier relativ so groß gegenüber dem Materialquerschnitt, daß das Ziehen nur mit kaltem Draht möglich ist, und anderseits werden durch das Ziehen die höchsten Anforderungen auch an die Qualität der Zieheisen gestellt. Diese bestehen aus Spezialsorten von Werkzeugstahl, vielfach englischen Ursprungs, und ihre Löcher werden entweder gebohrt oder mit polierten Dornen hergestellt. Sind diese Löcher nach bestimmter Zeit abgenutzt, so werden sie auf die nächstfolgende Kalibergröße nachgearbeitet.

Der Ziehbetrieb weist nun ganz besondere Eigentümlichkeiten auf. Jeder Walzdraht ist von einer Schicht von Rost und Glühspan überzogen, welche vor dem Ziehen entfernt werden müssen, wenn nicht das Zieheisen unverhältnismäßig stark leiden soll. In den meisten Fällen werden deshalb die Drahtringe in erhitzter Schwefelsäure zunächst gebeizt, um die Zunderschicht zu lockern; hierauf werden die Ringe in Kalkmilch getaucht, auf die Dorne von Polterwerken gesteckt, welche Ähnlichkeit mit Schwanzhämmern haben, und auf diesen unter kräftiger Wasserbrause von ihrem Überzug völlig befreit; ein weiteres Kalkmilchbad hinterläßt einen schwachen Überzug, welcher für das Glatthalten der Ziehlöcher von Vorteil ist. Weiterhin zeigt es sich, daß durch das Ziehen der Draht hart und spröde wird und zum Abreißen neigt, so daß sich je nach Art des Materials an eine bestimmte Zahl von Zügen ein Ausglühen im besonderen

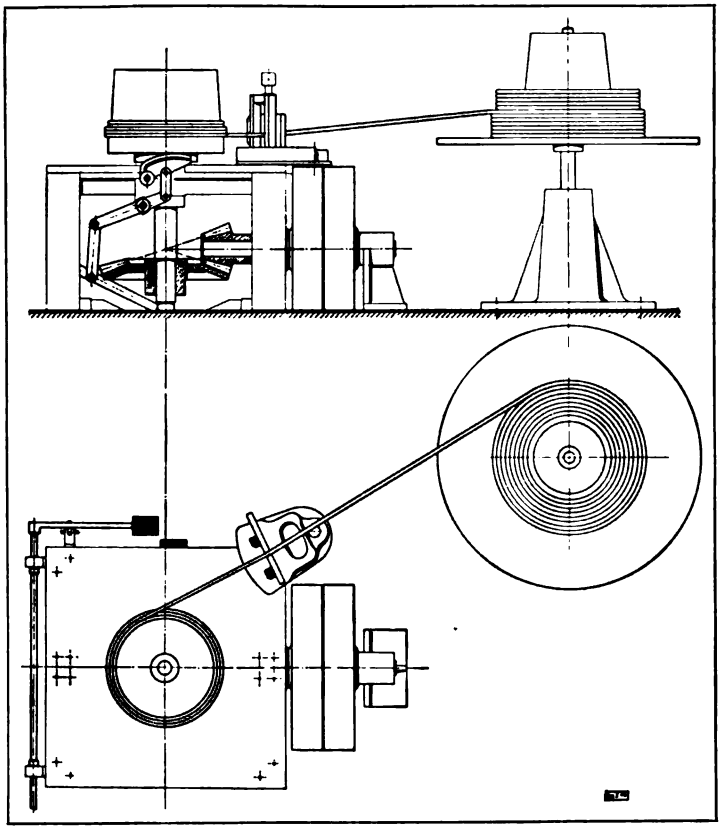


Abbildung 134. Grobzug.

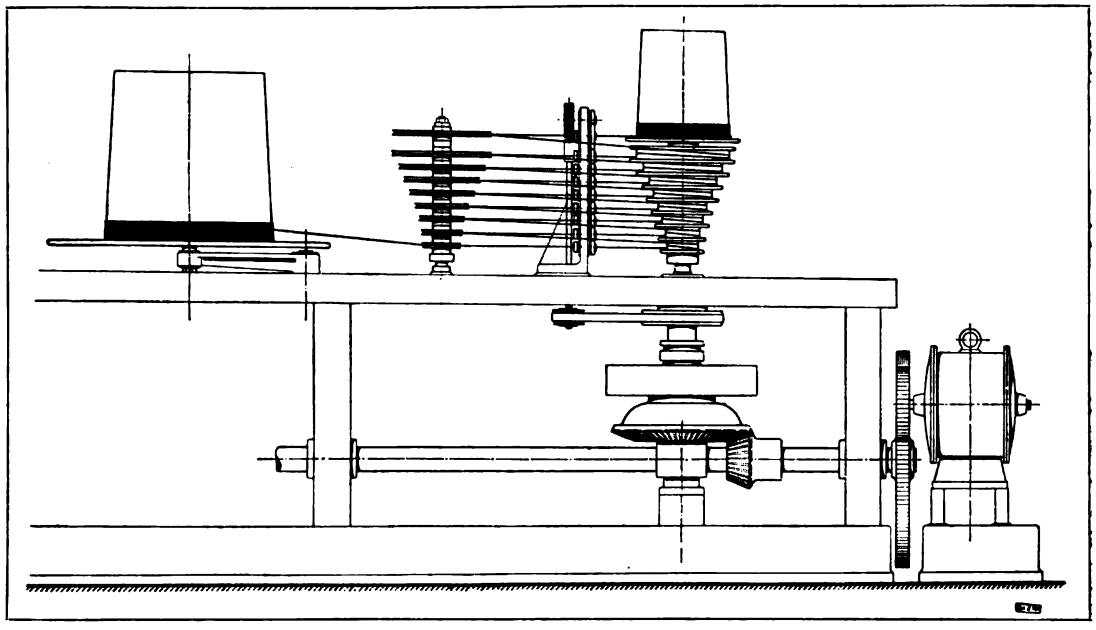


Abbildung 135. Feinzug.

Ofen anschließen muß. Diese Erscheinung ist besonders lästig, denn sie führt sowohl zu Materialverlust durch Abbrand, trotz bester Abdichtung der Glühgefäße im Ofen, als auch zu neuem Aufwand von Säure beim Beizen; neuere Bestrebungen gehen auch darauf hinaus, das notwendige Glühen in einer Umgebung vorzunehmen, welche Abbrand und Glühspan verringert, so daß auch der Säureverbrauch eingeschränkt werden könnte.

Das eigentliche Ziehen geht, von Stangendrähten abgesehen, auf „Drahtzügen" vor sich, welche gewöhnlich nach ihrem Arbeitsprogramm in Grobzüge, Mittelgrobzüge, Mittelfeinzüge und Feinzüge eingeteilt werden; dabei ziehen die ersteren bis auf etwa 3 mm, die nächsten bis 1,6, die Mittelfeinzüge bis 0,6 und die feinsten Züge, welche allerdings nur für Kupferdrähte nötig werden, bis 0,05 mm. Die Grobzüge (Abbildung 134) sind meist „Einfachzüge", d. h. auf der Bank geht jeweils nur ein Draht von einem Abwickelhaspel durch das Ziehloch zur Ziehtrommel; eine Klemmvorrichtung zum Erfassen des Drahtes sowie eine Kuppelung, welche sowohl verschiedene Geschwindigkeiten als auch rasches Ausschalten neben langsamem Anziehen ermöglichen soll, vervollständigen die einfache maschinelle Einrichtung solcher Grobzüge. Vor dem Anziehen muß der Draht, vorn zugespitzt, durch das Zieheisen gesteckt werden; eine an einer Gliederkette befestigte Zange erfaßt das zugespitzte Ende und zieht den Draht dann so weit hindurch, daß er zum eigentlichen Arbeitszug in eine sichere Klemmvorrichtung am Rande der Ziehtrommel eingespannt werden kann. Der Zieheisenhalter, gegen welchen sich das Zieheisen legt, ist dabei drehbar angeordnet, um sich immer so in die Zugrichtung einstellen zu können, daß das Ziehloch nicht einseitig abgenutzt wird.

Während sich bei diesen Grobzügen ein gleichzeitiges Ziehen von mehreren Drähten an einem einzigen Antrieb schon durch den zu hohen Kraftverbrauch verbietet, ist es bei den Feinzügen und bei weichem, zähem Material, welches mehrere Züge ohne

Ausglühen vertragen kann, gebräuchlich, kontinuierlich zu ziehen (Abbildung 135). Die Ziehtrommel erhält dabei in ganz bestimmtem Durchmesserverhältnis viele Einzelstufen hinter einzelnen Leitrollen, und das Anziehen durch die einzelnen Löcher des Ziehständers wiederholt sich hier so oft vor dem eigentlichen Arbeitszug, bis der Draht das letzte Ziehloch passiert hat und endlich auf dem obersten Teil der Ziehtrommel fest eingespannt ist, wo er sich dann wieder zum Bündel aufwickelt. Mit dem kleineren Kaliber der Löcher muß aber dabei das Zieheisen verlassen werden und an seine Stelle der Diamant treten; das Reich des derb zugreifenden Hüttenmannes ist bereits überschritten.

DIE VERARBEITUNG DER FASERSTOFFE IN DER TEXTIL- UND PAPIERINDUSTRIE VON OTTO JOHANNSEN

1. DIE TEXTILINDUSTRIE

Die Kunst, aus tierischen und pflanzlichen Rohstoffen Gespinste und Gewebe zu erzeugen, ist sehr alt. Nach den Funden, die gemacht wurden — vornehmlich in ägyptischen Grabstätten —, ist die Verwendung der tierischen Wolle älter als die der pflanzlichen Fasern, und von letzteren ist in Ägypten und in Palästina der Flachs wieder in früheren Zeiten verwendet worden als die Baumwolle, deren Gebrauch als Spinnstoff bei den alten Kulturvölkern überhaupt weniger üblich war. Die Spanier fanden bei der Entdeckung Amerikas die Baumwolle wildwachsend vor und ihre Faser von den Eingeborenen in Mexiko zu Geweben sehr feiner Art verwendet. Ob die Herstellung eines aus gesponnenen Fäden hergestellten Gewebes oder die eines Filzes, für den die Verarbeitung der Rohfasern unmittelbar zum zusammenhängenden Stoff stattfindet, älter ist, kann mit Sicherheit nicht gesagt werden. Die Anwendung des Webstuhls, der immerhin ein Gerät von einiger Schwerfälligkeit ist, setzt einen Kulturzustand voraus, der den des Nomaden überschritten hat, und die noch lebenden unseßhaften Völker benutzen in der Tat keine Webevorrichtungen, sondern begnügen sich — wie auch Naturvölker — mit Fellen, oder sie stellen aus tierischen Wollen grobe Filze her.

Im alten Rom ist die Verarbeitung der Schafwolle zu feinen Geweben, die gewalkt und gebleicht wurden, hoch entwickelt gewesen, desgleichen in Griechenland, wo jedoch auch die Flachskultur, ebenso wie in Ägypten, in hoher Blüte stand. Die Juden brachten die Flachsbereitung aus Ägypten, wo sie sich besonders mit ihr befaßt zu haben scheinen, nach Palästina und entwickelten sie hier zu bedeutsamer Blüte. Aber nicht nur die Kunst, Fäden zu spinnen und Stoffe zu weben, ist uralt und reicht in vorhistorische Zeiten zurück, sondern auch die Kunst der Ausschmückung, die wir heute die Veredelung nennen, durch Färben und Bemalen — heute Bedrucken — ist schon in frühesten Zeiten geübt worden. Hierauf weisen zahlreiche Gräberfunde hin, vornehmlich in ägyptischen Nekropolen.

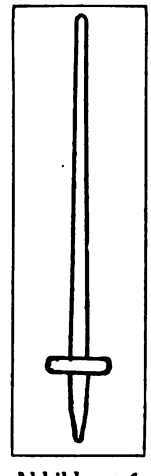


Abbildung 1. Handspindel.

Das älteste textile Handwerkszeug ist wohl die Handspindel (Abbildung 1), und es ist eine technisch wie entwicklungsgeschichtlich gleich interessante Tatsache, daß dieses Werkzeug, soweit seine Handhabung durch die menschliche Hand in Betracht kommt, in den vielen Tausenden von Jahren, in denen es in Verwendung steht, grundsätzlich fast keine Änderung erfahren hat und heute an den selbsttätigen Spinnmaschinen noch in fast gleicher Form benutzt wird wie in den frühesten Zeiten. Ein beiderseits verjüngt zulaufendes, etwa $1^1/_4$—$1^1/_2$ cm dickes Stück Hartholz — die dickste Stelle liegt ungefähr $8^1/_2$ cm über dem unteren Ende und ist mit einem Schwungwirtel aus Blei, Zinn, Stein usw. versehen — wird

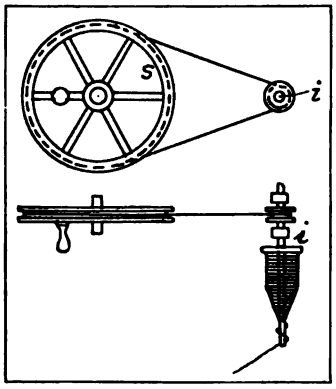


Abbildung 2. Handspinnrad.

von der rechten Hand gedreht, indem es am Faden hängt. Letzteren spinnt die linke Hand, indem sie aus dem Fasermagazin (Spinnrocken) die für die Fadendicke erforderliche Menge von Einzelfasern herausgreift — heraustastet — und zugleich durch eine streichende Bewegung in Richtung der Spindel die Parallellage der Einzelfasern anbahnt. Die rechte Hand verstärkt zeitweise den Drehungsimpuls, dessen Dauer durch den Wirtel vergrößert wird, solange sie die Spindelspitze noch erreichen kann. Ist dies nicht mehr möglich, so wird der Spinnvorgang unterbrochen und das fertiggestellte Fadenstück oberhalb des Wirtels aufgewickelt. Demnach besteht der Arbeitsvorgang aus zwei getrennten Einzelarbeiten: dem Spinnen und Aufwinden, wobei die für letzteres verbrauchte Zeit für die Garnerzeugung verloren geht. Der Vorgang ist schon im Mittelalter behufs Steigerung der Lieferung auf das Handrad und Ende des 18. Jahrhunderts (1764, 1779) auf die selbstspinnenden mechanischen Spinnstühle (Jennymaschinen, Mulemaschinen, Selfaktoren, Selbstspinner) in ganz gleicher Reihenfolge übertragen worden. Man bezeichnet ihn als „unterbrochenen" oder auch „unstetigen" Spinnvorgang, weil das eigentliche Spinnen durch das Aufwinden eine Unterbrechung erfährt.

Beim Handrad (Abbildung 2) treibt die eine Hand durch Kurbel eine größere Schnurscheibe s an, die mit beträchtlicher Übersetzung die Spindel i in rasche Drehung versetzt. Die andere Hand hält das Spinngut und läßt dasselbe zwischen Daumen und Fingern herausgleiten, die Führung so einrichtend, daß der an der Spindel befestigte Faden in stumpfem Winkel gegen die Spindelachse abläuft, so daß er für jede Drehung über die Spitze abspringt, ohne aufgewickelt zu werden. Dabei muß sich die Hand von der Vorrichtung entfernen, der Vorgang ist also auch hier schließlich für den Windungsprozeß zu unterbrechen. Denselben Arbeitsvorgang hält der selbsttätige Spinnstuhl (Selfaktor, Abbildung 3) heute noch ein, nur wird bei den Streckwerkmaschinen die Verfeinerung durch ein Zylinderstreckwerk s bewirkt und die Drehung durch eine Spindel Sp, die auf einem beweglichen (fahrbaren) Spindelträger sitzt, dem sogenannten Wagen W, der sich nach Maßgabe der Länge des gesponnenen Fadens vom Streckwerk entfernt. Der Unterschied besteht dann bloß darin, daß hier die Spindel vom Lieferwerkzeug (dem Streckwerk) entfernt wird, während beim Handrad die liefernde und spinnende Hand sich entfernte. Jedoch gleicht der Vorgang des mechanischen Spinnstuhls wieder vollständig demjenigen der Handspindel, die sich ebenfalls durch ihre Senkung von der liefernden und verfeinernden Hand entfernte. Auch der mechanische Spinnstuhl (Selfaktor) unterbricht den Spinnprozeß nach Fertigstellung einer bestimmten Fadenlänge (1,6—1,7 m) und vollzieht in getrennter Arbeit die Aufwicklung. Alle drei Vorrichtungen: Handspindel,

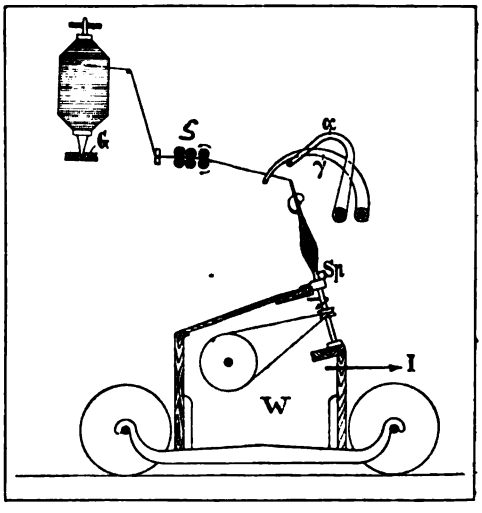


Abbildung 3. Streckwerkselfaktor.

Handrad und Selbstspinner, arbeiten demnach nach demselben „unterbrochenen" Arbeitsprinzip. Da der Selbstspinner für das Spinnen selbst etwa 10 Sekunden, für das unproduktive Aufwinden im Mittel 5 Sekunden, im ganzen also 15 Sekunden für eine Fadenlänge verbraucht, beträgt allgemein die Verlustzeit 1/3 der Gesamtzeit.

Dieser „unterbrochenen" Spinnmethode steht die „stetige", „kontinuierliche" oder „ununterbrochene" des Tritt- oder Tretrades gegenüber, aus dem sich wieder der als Flügelspinnmaschine und Ringspinnmaschine bezeichnete mechanische Spinnstuhl mit unausgesetztem Arbeitsvorgang entwickelt hat. Wie der Name sagt, erfolgt hier die Bewegung der Spindel durch Treten mit dem Fuße, und zwar nach der schematischen Abbildung 4 (vgl. auch Abbildung 5) derart, daß die Schnurscheibe s, die gleichzeitig als Schwungmasse dient, den kleinen Spindelwirtel i treibt. Der von einem Rockenstab, der entweder am Radgestell befestigt sein kann oder ein besonderes Stativ hat, von Hand durch Ausziehen gebildete Faden läuft durch den Kopf in das hohle eiserne Spindelrohr, das in Holz- oder einfachen Lederstulpen gelagert ist, tritt, die Drehung als Festigung aufnehmend, durch eine seitliche Bohrung des Kopfes wieder aus, wird nun an eine Drahtöse eines der hölzernen Flügelarme geführt und von hier an die aufwindende Spule geleitet. Die Flügelarme tragen, wie die Abbildung zeigt, zahlreiche Ösen, wodurch es möglich wird, den Faden an verschiedenen Stellen der Spule zur Aufwicklung zu bringen. Das ist notwendig, weil die Spule keine Verschiebung in Richtung der Achse erhält und die Bewicklung an nur einer Stelle unzweckmäßig wäre. Bei dieser Anordnung wird die Spule vom Flügel bzw. von der Spindel geschleppt, und die Aufwindung erfolgt, weil die Spule hinter der den Bewegungsimpuls unmittelbar empfangenden Spindel infolge der Eigenreibung zurückzubleiben sucht. Hieraus entsteht eine Spannung im Faden, die regulierend wirkt. Da die Windung von kleinerem zu größerem Durchmesser fortschreitet, ist die Windungszahl für gleiche Fadenlängen bei kleinstem Durchmesser am größten. Würde nun bei zunehmendem Durchmesser die Spule zu stark zurückbleiben bzw. die Windungszahl noch zu groß sein, so entstände eine Steigerung der Fadenspannung. Da letztere aber für die Spule die bewegende Kraft ist, nimmt die Umlaufzahl der Spule zu und die Windungszahl bis zur Erreichung des normalen Zustandes ab. Dieser regulierende Einfluß der Fadenspannung kommt bei einer mechanisch betriebenen Maschine dieser Art eigentlich nur für die Regelung der Spulenumläufe in bezug auf die Zunahme des Windungsdurchmessers in Betracht, weil hier die Lieferung durch das Streckwerk eine vollständig konstante ist. Beim Tretrad verzieht und liefert jedoch die Hand, die naturgemäß etwas unregelmäßig arbeitet, so daß hier die Windungsregulierung durch die Fadenspannung eine noch größere Bedeutung erlangt.

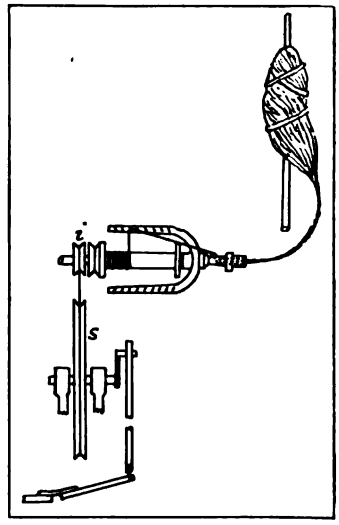


Abbildung 4. Tretspinnrad.

Anstatt die Spule durch die Spindel bzw. den Flügel schleppen zu lassen — es ist dies die älteste, schon im Mittelalter gebräuchlich gewesene Einrichtung —, kann man auch der Spule einen Antriebwirtel geben und sie unmittelbar in Drehung setzen, den Flügel aber durch den Faden schleppen lassen. Indem man diese Anordnung derart änderte, daß der Führungsöse ein besonderer Führungsring unter völliger Weglassung des Flügels gegeben wurde, erhielt man die Ringspinnmaschine.

Beide Methoden des kontinuierlichen Spinnprozesses werden heute im mechanischen Verfahren angewendet, nur ist die erste, die Schleppung der Spule, welche an der Flügelmaschine gebräuchlich war, durch die zweite (an der Ringmaschine benutzte) zurückgedrängt worden, weil letztere höhere Geschwindigkeiten und Produktionen zuläßt. Die Vorspinnmaschinen mit Flügelspindeln, die sogenannten Spulbänke oder Flyer (Fleyer), arbeiten mit vorauseilender Spindel oder Spule, doch muß hier der Spule mit Rücksicht auf die geringe Drahtfestigung, die dem noch verzugsfähig bleiben sollenden Faden gegeben werden darf, ein getriebszwangläufiger Antrieb erteilt werden; dem Faden ist dann die Schleppung der Spule oder des Flügels abgenommen.

Man hat das Tretrad — das heute noch auf dem Lande in einsamen Gegenden, namentlich im Gebirge, wo der Winter andere Beschäftigungen wenig zuläßt, vielfach anzutreffen ist — auch mit zwei Spindeln ausgestattet, so daß jede Hand der Spinnerin einen Faden erzeugen muß. Es ist das wohl eines der ersten Werkzeuge gewesen, das der Mensch mit dem Vervielfältigungsprinzip der Arbeit ausgestattet hat, das darauf abzielt, die eine menschliche Arbeitskraft für eine möglichst große Anzahl produzierender Einzelwerkzeuge auszunutzen. Gerade in der Textilindustrie, vor allem in der Spinnerei, hat dieser Grundsatz späterhin zu großen Erfolgen geführt, als man begann, einzelne Spinnstühle mit 50, 100, 400 Spindeln auszustatten, bis man schließlich heute bei 1000—1400 Spindeln angelangt ist.

Abbildung 5. Tretspinnrad.

Die große Zeit der Erfindungen, die für die Entwicklung der mechanischen Spinnerei grundlegend gewesen ist, fällt in die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts, etwa von 1740 bis 1790. Daß England das klassische Land der Textilindustrie geworden ist, hat seine Ursache darin, daß die wichtigsten Erfindungsgedanken in eben dieser Zeit dort entstanden sind. Doch wäre es ein Irrtum, wenn man dies lediglich auf die Bevölkerung und ihre praktisch-intelligente Veranlagung zurückführen wollte. Ein wichtiges Moment des Anstoßes — vielleicht das für die Ausreifung technischer Erfindungen dieser Art wichtigste — lag in der gesunden politischen Lage des Landes, den damals schon sehr großen kolonialen Perspektiven desselben und der Möglichkeit, die Kräfte, die anderwärts in Kämpfen verbraucht wurden, wirtschaftlicher und technischer Entwicklung zuzuwenden. Daß das Land reich an Naturschätzen ist, war selbstverständlich ebenso fördernd wie die geographische Lage. Was die politische Konsolidierung indessen vermag, hat sich am besten in Deutschland ge-

zeigt, dessen Aufschwung sicher schon viel früher eingesetzt haben würde, wenn die großen Ereignisse des Jahres 1870 um einige Jahrzehnte eher eingetreten wären und den Kräften des Volkes freie Bahn für die wirtschaftliche und technische Entwicklung verschafft hätten. Die bedeutendsten englischen Erfinder von mechanischen Spinnvorrichtungen sind Lewis Paul, Hargreaves, Arkwright und Crompton gewesen. Paul erfand die erste Spinnmaschine mit Streckwerk und Flügelspindel und brachte sie 1740 oder 1741 in Betrieb. Die Idee Pauls hat Arkwright weiter ausgebaut (1769—1775) und namentlich für die Vorbereitung Vervollkommnungen angebahnt und eingeführt; auch war er der erste, der die Flügelmaschine in größerem Maßstabe zu fabrikmäßiger Ausnutzung verwendete. Von dem Antrieb der Flügelspinnereien mittels Wassermotoren erhielten diese Maschinen die ihnen bis heute gebliebene Bezeichnung als Watermaschinen, die schließlich auch auf das Garn übertragen wurde und noch gegenwärtig allgemein für Ringgarne benutzt wird. Die Arkwrightsche Flügelmaschine (Abbildung 5a) hatte zwar nur ein Holzgestell, auf dem eine kleine Spindelzahl vereinigt war, aber das obenliegende dreizylindrige Streckwerk und die unter demselben angebrachte — senkrecht etwas nach vorn versetzte — Flügelspindel waren ihr bereits eigentümlich, und diese Grundform ist der Maschine — auch als Ringtype — bis heute geblieben. Bemerkenswert für das Arbeitsverfahren ist also, daß der Faden durch die zunehmende Geschwindigkeit hintereinanderliegender Zylinder (Streckwalzen) verfeinert wird, wobei die Fasern eine Parallellegung in der Längsrichtung erfahren; unmittelbar an der Stelle, wo das Gespinst aus dem letzten Streckwalzenpaar heraustritt, wird es durch die Einwirkung der Flügeldrehung gezwirnt (gedreht, gefestigt). Diese Maschine war also die erste Streckwerkspinnmaschine, grundlegend von Paul erfunden, ausgebildet von Arkwright; von ihr gingen die zahlreichen Anwendungen aus, die im Streckwerkspinnen für die verschiedenen Fasergattungen heute benutzt werden.

Abbildung 5a. Arkwrights Flügelwatermaschine.
(Original im Deutschen Museum in München.)

Im Jahre 1764 erfand der Weber James Hargreaves eine eigenartige Maschine, die er nach seiner Tochter Jennymaschine benannte und die den Ausgang für alle

mit periodischem (unterbrochenem) Arbeitsvorgang arbeitenden Spinnmaschinen bildete. Hierher gehören die selbsttätigen Spinnstühle, die den Namen „Selfaktoren" führen. Die Jennymaschine (Abbildung 6) hatte eine senkrechtstehende Spindel, deren Kopf aber tiefer lag als die sogenannte „Presse", die von den Spindeln etwa 1,5 m weit abgefahren wurde. Hierbei wickelte sich das durch die offene Presse laufende Vorgarn von den Vorgarnspulen ab. Schloß sich die Presse, so fand ein Verzug des gelieferten Fadens statt, dem durch Drehung der Spindeln die nötige Festigkeit gegeben wurde. Das Verfahren ist grundlegend für den Streichgarnspinnstuhl gewesen.

Samuel Crompton hat schließlich das Streckwerk der Arkwrightschen Flügelmaschine mit einem beweglichen (fahrbaren) Spindelträger, dem Wagen, verbunden (vgl. Abbildung 3). Das durch den Streckwerkverzug auf die richtige Feinheit gebrachte Gespinst läuft unter stumpfem Winkel an die Spindeln, die es drehen und durch ihre Entfernung von den Zylindern gespannt erhalten. Der Windungsprozeß erfolgt hier wie bei der Jennymaschine nach dem Spinnen in getrenntem Arbeitsvorgang, beide Typen arbeiten also im Grunde nach der Methode der Handspindel und des Handrades. Cromptons Maschine ist eine Kombination von Hargreaves' und Arkwrights Grundideen, die Erfindung erfolgte auch erst 1779, wesentlich später als die der Jenny- und Flügelmaschine. Der Vergleich mit dem Bastard zwischen Pferd und Esel, dem Maulesel, englisch „mule", führte zur Bezeichnung Mulemaschine (Self-acting mule).

Ein Erfinder, dessen Name nicht übergangen werden darf, ist Wyatt, weil er die sogenannte Stockkarde für die Lösung der Faserstoffe erfand, mit welcher ein wesentlicher Fortschritt in der Vorbereitung getan worden war. William Strutt, sodann Roberts, Corker, Higgins förderten die Automatisierung der Maschinen und die Ausgestaltung der Reinigungs- und Vorspinnmaschinen wesentlich, so daß 1830 der mechanische Spinnprozeß in seinen Hauptmaschinen festgelegt war. In diesem Jahre hat der Amerikaner Jenks aus der Flügelmaschine die Ringspinnmaschine abgeleitet (vgl. oben), doch hat es 40—50 Jahre bedurft, bis diese Idee allgemein durchgedrungen war. Heute verdrängt die um 30—35 % mehr produzierende Ringmaschine für mittlere Feinheiten mehr und mehr die periodisch arbeitenden Selfaktoren, nur die Streichgarnspinnerei muß letztere aus bestimmten Gründen noch beibehalten. Indessen ist es nicht richtig, wenn angenommen wird, daß das Ringgarn das Selfaktorgarn vollständig ersetzen kann. Ein Problem, dem sich viele Erfinder seit den ersten Zeiten gewidmet hatten, war das der Kämmerei. Dem Elsässer Josua Heilmann gelang es im Jahre 1845, eine in der Konzeption der Ideen großartig angelegte Maschine zu bauen, deren Prinzipien wieder grundlegend für dieses Gebiet geworden sind.

Napoleon I. hat 1810 zur Zeit der Kontinentalsperre den Impuls zur Erfindung der Maschinen für lange Fasern, in deren Beschaffung — Flachs, Hanf — der Kontinent nicht von den Engländern abhängig war, gegeben. Dem Franzosen Philipp Girard gebührt der Ruhm, für Flachs den ganzen Arbeitsprozeß aufgebaut und so umfassend durchgeführt zu haben, daß er für alle spätere Zeit festgelegt war. Er hat in die Langfaserspinnerei die Führung des Spinngutes im Verzugsfeld durch Nadelstäbe eingeführt.

Obzwar die Grundzüge des Spinnens, namentlich soweit das Spinnen der fertigen Nummer in Betracht kommt, für alle Faserstoffe ähnliche, zum Teil sogar gleiche sind, sind doch in den Vorbereitungsarbeiten, dem Auflösen, Reinigen, Ordnen, fortschreitenden Verfeinern und Vorspinnen, je nach den Eigenschaften des Materials er-

hebliche Unterschiede vorhanden. Das Fertigspinnen zu dem Faden von bestimmter Feinheit, auch Feinspinnen genannt, erfolgt bei Baumwolle heute auf Ringspinnmaschinen und Selfaktoren, wobei letztere nach dem Prinzip der Cromptonmaschine (mit Streckwerk) und der Hargreavesmaschine (ohne Streckwerk) arbeiten können. Dasselbe gilt für Wolle. Für alle Langfasern (Flachs, Hanf, Jute) ist die Anwendung des Selfaktors ausgeschlossen, es kann nur auf Flügel- oder Ringmaschinen fertiggesponnen werden. Nachstehend sollen nun die einzelnen Spinnprozesse in ihren Hauptarbeitsvorgängen in Kürze besprochen werden.

Abbildung 6. Hargreaves' Jennymaschine.
(Original im Deutschen Museum in München.)

DIE BAUMWOLLSPINNEREI. I. Die Baumwollstreckwerkspinnerei (statistische Angaben vgl. Bd. I, S. 353). Die Arbeiten, die mit dem in gepreßten Ballen in die Fabrik gelangenden Rohstoff vorgenommen werden, sind:

1. Das Mischen oder Aufstocken.

2. Das Auflösen und Lockern bis zu Einzelflocken, womit stets gleichzeitig ein Reinigen von groben und feineren Unreinigkeiten, namentlich auch von kurzen Fasern (Staubfasern, Flug) verbunden wird.

3. Das Kratzen, Krempeln oder Kardieren. Das Material wird bis zur Einzelfaser aufgelöst, von feinen Unreinigkeiten und von kurzen Fasern, die aber doch noch nicht zum Flug gehören, befreit. Es wird ein fortlaufendes Vlies und Band, das erste gespinstähnliche Produkt, gebildet.

4. Das Kämmen. Es erfolgt die Ausscheidung aller Reste von noch zurückgebliebenen Unreinigkeiten, auch die für die Erzeugung feinerer Garne hinderlichen kurzen Fasern, die der Krempelprozeß nicht auszuscheiden vermochte, werden entfernt. Die Anwendung erfolgt nur ausnahmsweise für die Herstellung besonders feiner oder extra guter Gespinste. Für mittlere Nummern fällt das Kämmen gewöhnlich fort.

5. Das Strecken und Dublieren auf der Strecke folgt gewöhnlich unmittelbar dem Krempeln und besteht in mehrmaligem Strecken und oftmaligem Dublieren der Krempelbänder, wodurch die Fasern parallel gelegt und die Ungleichheiten der Bänder egalisiert werden. Dieser Vorgang hat also die Aufgabe, das Produkt der Krempel hinsichtlich Faserlage und Bandgleichmäßigkeit zu verbessern.

6. Das Vorspinnen auf Spul- oder Spindelbänken (Flyer, Banc à broches). Es werden zumeist drei, für feinere Garne vier Spulbänke hintereinander angewendet, die durch Streckwerke die fortschreitende Verfeinerung geben und dem lockeren Vorgespinst mittels einer Flügelspindel eine geringe, für die Aufwindung auf eine Spule gerade ausreichende Festigung erteilen.

7. Das Fertig- oder Feinspinnen.

a) Auf Flügelmaschinen, die mit Streckwerk verziehen und mit Flügelspindel drehen. Diese Maschinengattung ist für Baumwolle fast vollständig überholt durch

b) die Ringspinnmaschine; diese verzieht durch ein dreizylindriges Streckwerk das Vorgespinst bis zur gewünschten Feinheit und dreht mittels Spindel und Läufer (Öse, Fliege) den gleichzeitig aufwindenden Faden.

c) Auf Selfaktoren mit Verzugsstreckwerk und ausfahrbarem Spindelträger (Wagen). Spinnsystem Crompton (vgl. Abbildung 3).

a und b bilden den „stetigen", c den unterbrochenen Spinnprozeß.

Das Streckwerkverfahren wird für grobe, mittelfeine und feinste Gespinste aus Baumwolle angewendet und liefert glatte Fäden. Für gröbere Fäden, die struppiger und rauher ausfallen dürfen und meist aus kürzerem Rohstoff (ostindische Baumwolle) gefertigt werden, gelangt

II. Die Baumwollstreichgarnspinnerei (Zweizylinderspinnerei) zur Anwendung. Sie besteht aus:

1. dem Mischen;

2. dem Auflösen und Reinigen;

3. dem Krempeln in zweifacher, seltener dreifacher Wiederholung. Mit der letzten Krempel ist ein Spinnapparat verbunden, der durch Zerteilen des Krempelvlieses (Florteiler) schmale Faserbänddhen erzeugt, durch deren Zusammenwürgeln (Nitscheln) ein loses, haariges Vorgespinst entsteht. Danach schließt

4. das Vorspinnen unmittelbar an das Krempeln an.

5. Das Feinspinnen erfolgt nur auf Selfaktoren, die aber ohne Streckwerk arbeiten und die Verfeinerung durch den Verzug geben, die der ausfahrende Wagen erteilt. Hierbei findet gleichzeitig eine Vergleichmäßigung statt. Das Verfahren gleicht dem der Hargreaves(Jenny)maschine.

Für beide Gruppen I und II ist dann noch das Fertigstellen der Garne, d. i. das Haspeln, Verpacken usw., bzw. die Aufmachung für den Handel zu nennen.

I. Die Baumwollstreckwerkspinnerei. 1. Das Mischen. Die Ballen enthalten, auch wenn sie derselben Klasse angehören, oft ungleiche Partien. In Farbe, Reinheit, Stapel (Faserlänge) können auch innerhalb desselben Ballens Schwankungen vorkommen. Indem man 30—50 Ballen aufstockt, d. h. in einem etwa 4 auf 5 m messenden Raum schichtenweise übereinanderbreitet, erhält man eine Mischung. Diese wird dann durch senkrechtes Abstocken verbraucht, wobei das Material der Einzelballen noch besser durcheinandergerät. Auch Stoffe verschiedener Klassen und Qualitäten können im Verschlag gemischt werden, doch darf dies nie mit solchen von sehr verschiedenem Stapel (verschiedener Faserlänge) geschehen.

Das Mischen geschah früher von Hand und erfolgt jetzt immer mittels Maschine, die gewöhnlich mit einem mechanischen Transporteur zur Überführung des in kleinere Stücke zerteilten Materials in die Mischabteilungen zusammengebaut wird. Abbildung 7 zeigt eine neuere Maschine für die Zerrupfung der Baumwolle, den Kastenballenbrecher. Der Arbeiter wirft das ungelöste Material, das er höchstens von Hand etwas

auseinanderreißt, in den Kasten A, der innen durch ein schräges Lattengitter B, das aufwärtsbewegt wird, abschließt. Letzteres ist auf den Latten mit schräg emporweisenden Nadeln besteckt (Nadelgitter, Spiked lattice) und rupft den Stoff flockenweise ab. Ein Abstreifschläger (C) begrenzt die Auflage, ein zweiter (D) streift auf der anderen Seite das Material ab. Ventilator K saugt den durch die ständige Stoffbewegung freiwerdenden Flugstaub über A ab. Der Transporteur besteht aus zunächst zwei vertikalen oder schräggestellten Steiggittern, an die oben horizontale Transportgitter anschließen. Auch Luftförderung wurde schon angewendet.

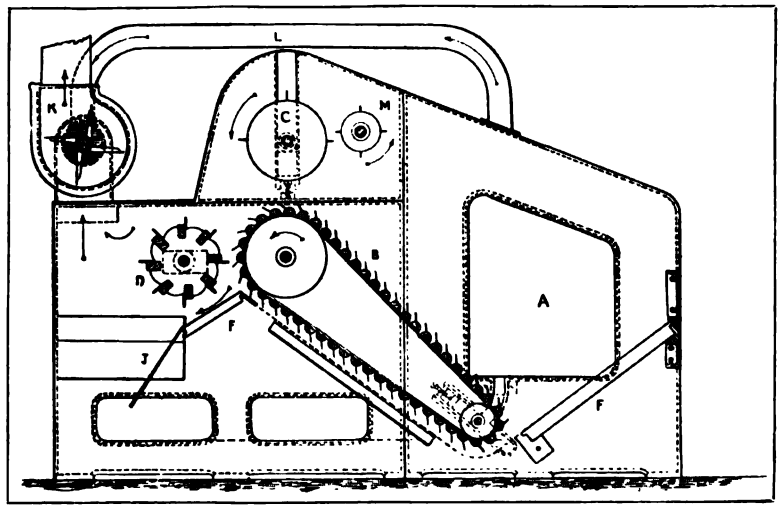


Abbildung 7. Kastenballenbrecher.

Mit der Mischung wird die sogenannte Ballenschau verbunden, d. i. die Durchsicht der Einzelballen auf Klasse und Qualität, die Ausscheidung der Minderklassen usw. Das Mischen ist auch wichtig für die Rückquellung der Faser, weil letztere durch die lange Pressung an Elastizität verliert. Der Einfluß der Ablagerung in der Mischung auf die Güte des Garns ist ein nachgewiesen guter.

2. Das Auflösen, Lockern und Reinigen in der „Putzerei" (Schlägerei, Battage, Blowing room). Für Baumwolle werden heute vornehmlich zwei Maschinengattungen verwendet: der Öffner oder Opener (Ouvreuse) und die Schlagmaschine (Scutcher, Batteur).

Die Öffner sind nach der Anordnung der Schlagwelle in vertikale und horizontale zu unterscheiden. Eine der weitestverbreiteten Typen ist der Verticalopener von Crighton (Abbildung 8). Der durch ein Gitter und Zylinder A B eingeführte Stoff wird — die Einführung kann aber auch unmittelbar in den vertikalen Schlagtrichter erfolgen — von einer kleinen Nasentrommel e etwas vorgeöffnet und durch E in einen konischen Raum geleitet, der von einem Rost H gebildet wird. In dem Trichter rotiert der Schläger F mit 1000 Umläufen

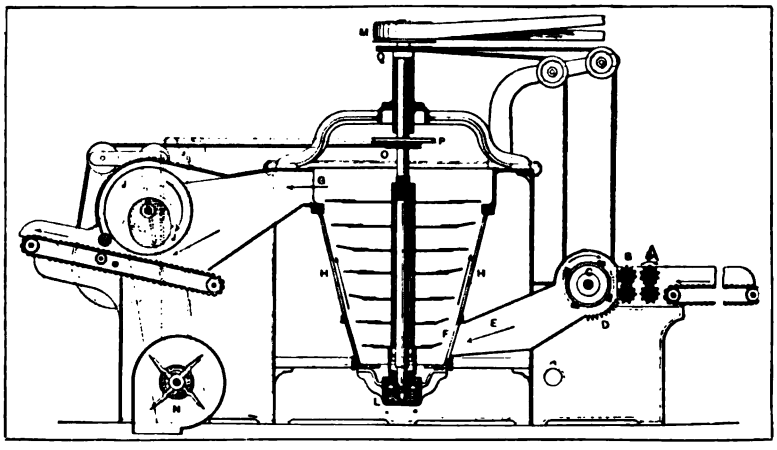


Abbildung 8. Vertikalöffner, System Crighton.

in der Minute und bearbeitet infolge der Zunahme der Durchmesser der Schlagscheiben nach oben den Stoff, der emporgesogen wird, mit zunehmender Schlaggeschwindigkeit. Ein Ventilator N saugt durch Seitenkanäle die Luft aus dem Trichter mit dem Stoff an die Siebtrommel J, wobei der Luftstrom durch die Spalten des Rostes H eintritt. Da gleichzeitig die Schlagkraft ausschleudernd zu wirken sucht, entsteht an den Spalten eine Wechselwirkung zwischen Schlag und Luftstrom, was zur Folge hat, daß nur schwerere Teile als Abfall ausfallen, die gereinigten Flocken aber mitgehen. Mit der Luft treten an J auch Staub, kurze Fäserchen usw. aus und werden von N ausgeblasen. Ein Gitter führt das Material schließlich ab.

Die Horizontalöffner wirken ähnlich, nur besitzt ihr Schlagorgan, eine Trommel, an allen Schlagstellen gleiche Geschwindigkeit. Alle Öffner pflegt man heute oft mit Saugvorrichtungen auszustatten, um den Stoff von der Mischung anzusaugen (Exhaustöffner, Saugöffner). Auch werden mehrere Öffner zusammengebaut oder mit Schlagmaschinen kombiniert (kombinierte Öffner).

Die Schlagmaschine zeigt Abbildung 9 im Längsschnitt. Die vom Öffner (wenn er mit Schlagmaschine kombiniert war) gelieferten Wickel gelangen auf ein Zuführgitter und werden behufs Vergleichmäßigung drei- bis vierfach dubliert. Durch Zylinder AB erfolgt die Einfuhr in den Schlagkasten, in dem der meist zweiarmige Flügel H mit etwa 1500 Umläufen in der Minute rotiert, so daß $\frac{1500 \cdot 2}{60} = 50$ Schläge an der Einfuhrstelle auf den Stoff ausgeübt werden. Umfangsgeschwindigkeit rund 30 m per Sekunde. Hierdurch entsteht weitgehende Auflösung, weil die Schlagschiene das Material der ganzen Breite nach trifft. Schlagkraft und Luftstrom (vom Ventilator M erzeugt) bewirken in Wechselwirkung wieder Reinigung von gröberen Unreinigkeiten an Rost I. Einiges fällt auch durch eigene Schwere im Fluge über J aus. K und L sind zwei Siebtrommeln, in deren Inneres Luft mit Faserstaub tritt, während die sich bildende lockere Watte an die Walzen N geht, hier gepreßt (verdichtet) und schließlich von P zu Wickel Q geformt wird. Die Schlagmaschinen werden auch doppelt gebaut und mit Muldenzuführungen C versehen, an die sich das Gestänge E eines Konusregulators behufs Erzielung gleichmäßiger Wickel anschließt. Man kombiniert vereinzelt zwei Schlagmaschinen zu sogenannten Doppelschlägern; sehr häufig wird aber an die Öffner heute eine Schlagmaschine mit Wickelbildner angebaut. (Abbildung 10 zeigt ein modernes Putzereilokal, Eisenbetonbau der Spinnerei, Weberei Schwarzenbach.)

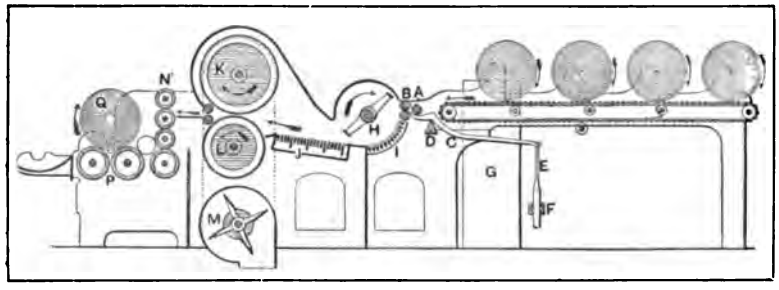


Abbildung 9. Schlagmaschine.

3. Das Kratzen, Krempeln oder Kardieren. Die Arbeit des Krempelns bildet den Übergang zum Spinnen und zerlegt den Stoff in die Einzelfasern, diesen zum ersten Male eine Streckung in der Längsrichtung gebend und in einem Bande das erste gespinstähnliche Erzeugnis bildend. Um eine vollständige Zerlegung herbeiführen zu können, durch die auch alle noch übrigen feinen Schmutzteilchen freigelegt werden, ist es notwendig, das feine, flüchtige Material auf einer großen Fläche auszubreiten, die so beschaffen ist, daß sie die Fasern festhalten kann. Als Hauptwerkzeug ver-

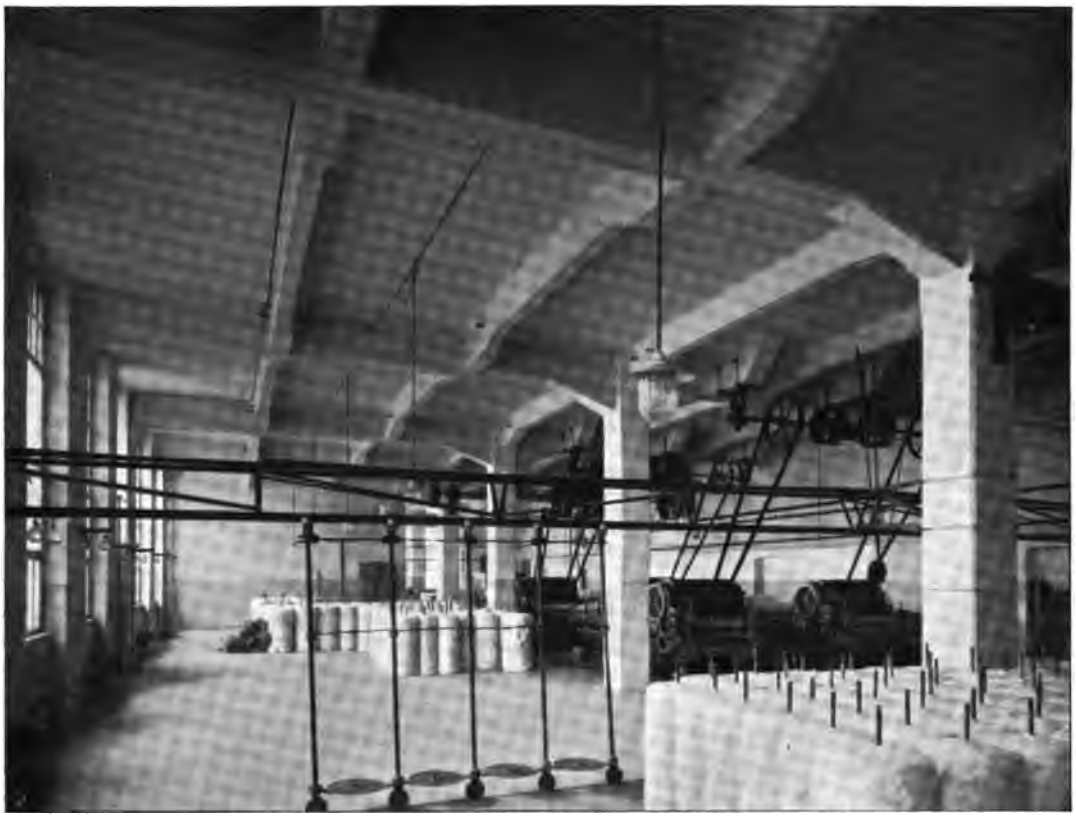
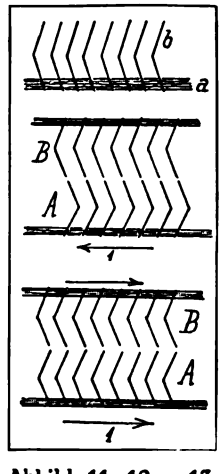


Abbildung 10. Öffner- und Schlägerraum (Putzerei) der Baumwollspinnerei Schwarzenbach a. S.

wendet man deshalb an der Krempel eine etwa 1,27 m im Durchmesser messende hohle Eisentrommel (vgl. Abbildung 16) von zum Beispiel 0,92—1 m Breite, die mit 150—200 Umläufen in der Minute rotiert und hierdurch dem Material eine große Ausbreitungsfläche darbietet. Die Aufnahmefähigkeit des Trommelmantels wird durch das Bedecken desselben mit einem Kratzenbeschlag erreicht, der aus feinen Stahldrahthäkchen besteht, die in großer Zahl — zum Beispiel 70—80 auf den qcm — in einem lederartigen Stoff (Belagstoff, Kratztuch) aus mehrfach übereinandergeklebten Geweben eingesetzt sind. Die Höhe dieses Beschlages beträgt 10 mm, die Trommel mißt also einschließlich Beschlag (oder Garnitur) 1,29 m. Abbildung 11 zeigt einen derartigen Kratzbeschlag; a ist das Tuch (Card cloth), drei- bis vierfach übereinandergeklebt, b sind die Häkchen. Letztere sind mit einem Knie versehen, so daß die Spitze senkrecht über dem Fußpunkt steht und die Schwingungen, die im Arbeitszustand stattfinden, keine Beschädigungen durch ihre Annäherung an die gegenüberliegenden Zähne verursachen können. Um nämlich das Material zu lösen und zu strecken, ist es notwendig, den Belag der Trommel demjenigen der Arbeitsorgane möglichst eng gegenüberzustellen (etwa 0,15—0,16 mm), damit die Flocken von beiden Teilen erfaßt und auseinandergezogen werden.



Abbild. 11, 12 u. 13. Kratzenbeschläge.

Bewegt sich in Abbildung 12 die Trommel A mit 12 m in der Sekunde nach 1 und steht der Beschlag B still, oder bewegt er sich nur sehr langsam nach links oder rechts, so werden zwischen AB eingeführte Flocken zerzogen, gelöst und gekrempelt (kardiert), wobei gleichzeitig kurze Fasern und Unreinigkeiten tiefer in A oder B eindringen und ausgeschieden werden. Diese Ausscheidungen müssen stets nach einiger Zeit mittels eines Putzapparates entfernt oder ausgestoßen werden, weil die Beschläge sich sonst vollsetzen und ihre Leistungsfähigkeit verlieren.

Stehen die Häkchen, wie in Abbildung 12, so, daß sie gegeneinanderarbeiten (entgegengesetzt), so wird „kardiert". Man kann indessen auch die Lage Abbildung 13 wählen, welche sich für den Krempelprozeß nicht eignet, es jedoch gestattet, daß zum Beispiel der Beschlag B den in A angehäuften Stoff abnimmt. Hierfür ist jedoch Voraussetzung, daß B schneller als A in gleicher Richtung mit diesem bewegt wird (Abnahme). Die arbeitenden oder kardierenden Teile einer Krempel können in zweierlei Formen ausgeführt werden, und nach diesen teilt man auch die Systeme ein. In Abbildung 14 ist T die große Arbeitstrommel, A eine Walze, deren Häkchen in kardierender Stellung zu denjenigen von T stehen, während W mit einer zu A und T gleichgerichteten Garnitur versehen ist. Der von T herangeführte Stoff wird zwischen T und A gekrempelt oder kardiert, wobei T große und A wesentlich kleinere Umfangsgeschwindigkeit erhält; man bezeichnet A mit Beziehung auf die hier vollzogene Kardagearbeit als Arbeitswalze oder „Arbeiter". Die Walze W läuft schneller um als A und nimmt das Material von A infolge der Gleichrichtung der Häkchen ab, ihn an T wendend (daher „Wender"), wobei wieder die Umfangsgeschwindigkeit von T größer als die von W ist. Eine Karde dieser Art erhält 7—8 Walzenpaare und wird als Walzenkrempel bezeichnet (Rollerkarde; Abbildung 16). Die zweite Art von Kardierwerkzeug besteht nach Abbildung 15 aus einem deckelartigen flachen Körper d, der mit Beschlag versehen ist. Die Häkchen dieses „Deckels" d stehen zu denjenigen von T entgegengesetzt und verursachen Krempelung des Stoffes. Die Deckel können feststehen oder langsam bewegt werden. Die ersten erfordern zeitweise Aushebung behufs Entfernung der Unreinigkeiten, bei den zweiten (Wanderdeckelkarde, Revolving flatcard) sind die Deckel (110 an der Zahl, davon jeweils 45 arbeitend) zu einer endlosen Kette zusammengeschlossen und werden in sehr langsamem Umlauf (2 mm Sekundengeschwindigkeit) an die Putzstelle geführt. Die Karde mit feststehenden Deckeln ist heute außer Gebrauch gekommen, die Wanderdeckelkarde beherrscht das Feld vollständig. Ihre Deckel sind aus Eisen hergestellt und werden auf 0,15—0,16 mm Abstand zur Trommel eingestellt. Das Produkt der für kurzes Material (ostindische Baumwolle und Abfall) vielfach verwendeten Walzenkrempel ist infolge der mehrmaligen Umwendungen rauh und haarig, das der Deckelkrempel glatter; letztere besitzt eben für den Arbeitsvorgang eine große geschlossene Arbeitsfläche, während die Walzenkarde nur 7—8 einzelne Kardierungspunkte hat.

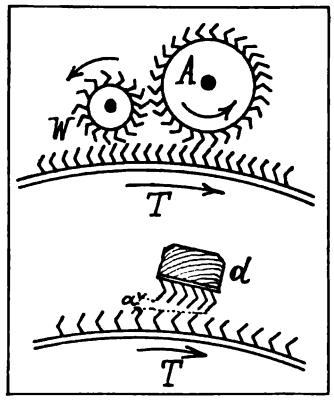


Abbildung 14 u. 15. Walzen- und Deckelanordnung.

Findet auch zwischen der Trommel und den Walzen oder Deckeln die eigentliche Kardierung statt, so bedarf es an der Karde doch noch einer Reihe weiterer Werkzeuge, welche einerseits die Auflösung vorbereiten (Einzug- oder Speiseeinrichtungen), anderseits aber die zerlegte Fasermasse während des Abführens wieder so weit verdichten,

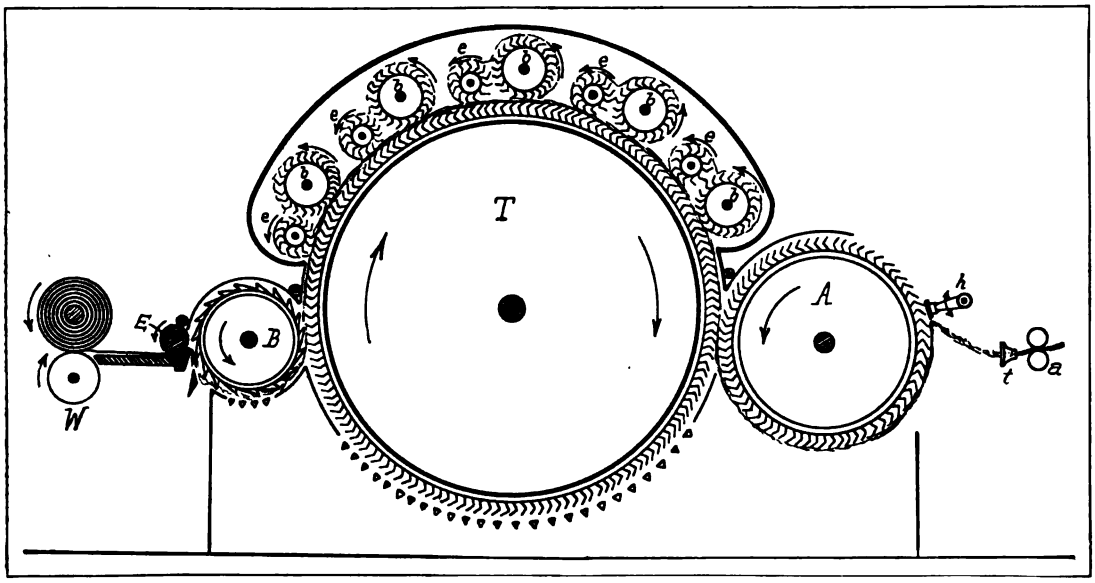


Abbildung 16. Walzenkrempel.

daß ein Band von bestimmter Mächtigkeit gebildet werden kann. Abbildung 16 stellt eine Walzenkarde dar mit 5 Walzenpaaren (7—8 normal). W ist eine Walze zum Abrollen des Schlagmaschinenwickels, E ein Einzugzylinder, der die Watte über eine Mulde einzieht, B eine mit Sägezahnbeschlag versehene Auflösungsvorwalze, die das Material vorgelockert an die große Trommel T abgibt. Zwischen E und T findet eine Ausbreitung um das 2500—3000fache statt. Das zwischen T und den Walzen (oder Deckeln) fertigkardierte Material wird schließlich zwischen T und dem Abnehmer unter gleichzeitiger Kardierung — T und A haben entgegenstehenden Beschlag — um etwa das 25—30fache verdichtet, von einem Hacker (Kamm) h in Vliesform abgekämmt und durch Trichter t und Abzugwalzen a zu einem Band geformt und abgezogen. Das Band läuft schließlich in Kannen (Töpfe) (Abbildung 17), die sich leicht transportieren lassen. Da sich die Kannen behufs regelmäßiger Ablagerung des Bandes drehen müssen, nennt man den Einbettungsapparat Drehtopf, das System Topfsystem. Aus der 2500—3000fachen Ausbreitung resultiert durch die 25—30fache Verdichtung eine etwa 100fache Verfeinerung der Wickelwatte.

Man kardiert mitunter auch zweimal nacheinander, indem die von der ersten Karde gelieferten Bänder auf einer besonderen Maschine, dem Bandwickler, zu Vorlagewickeln für die zweite Karde geformt und dann letzterer vorgelegt werden. Die erste Karde, Vor- oder Reißkarde, ist gewöhnlich mit gröberem Beschlag versehen als die zweite oder Auskarde (Feinkarde). Indessen ist diese doppelte Kardierung heute wenig mehr gebräuchlich, weil die Wanderdeckelkarde durch entsprechende Wahl der Geschwindigkeiten und Verzüge jede Abstufung in der Intensität der Bearbeitung zuläßt.

Abbildung 17 zeigt eine Wanderdeckelkarde mit 109 Deckeln, von welchen 43 arbeiten; sie ist ohne alle Holzteile ganz aus Eisen und Metall ausgeführt.

4. Das Kämmen erfolgt nur mit wenigstens einmal vorgestreckten Kardenbändern, damit die Fasern sich in besserer paralleler Lage befinden und weniger Abgang (Kämmling) entsteht. Bis jetzt lohnt sich die Anwendung dieses Prozesses für grobe

und mittlere Nummern nicht, weil die Produktion zu gering, der Abfall zu groß und die Kosten zu beträchtlich sind. Indessen besteht unter den Konstrukteuren ein eifriger Wettstreit, die für Baumwolle bekannte beste Heilmannsche Type für größere Lieferung und geringeren prozentualen Abgang auch für Stoffe mittlerer Güte (amerikanische Baumwollen) nutzbar zu machen. Jedenfalls verbreitet sich das Kämmen in der Baumwollindustrie zusehends. Die Heilmannsche Maschine wurde von Josua Heilmann um 1845 erfunden und von Schlumberger in Gebweiler zunächst ausgebaut. Die Erfindung ist eine der genialsten, die der Maschinenbau überhaupt zu verzeichnen hat. Nach Abbildung 18 u. 19 spielt sich der Arbeitsvorgang in folgender Reihenfolge ab. Aus der offenen Zange H-H_1 wird durch Schaltung der Walzen W_2 und des Zylinders F ein kurzes Wattenstück von 3—4 mm vorgeliefert (gespeist). Dann

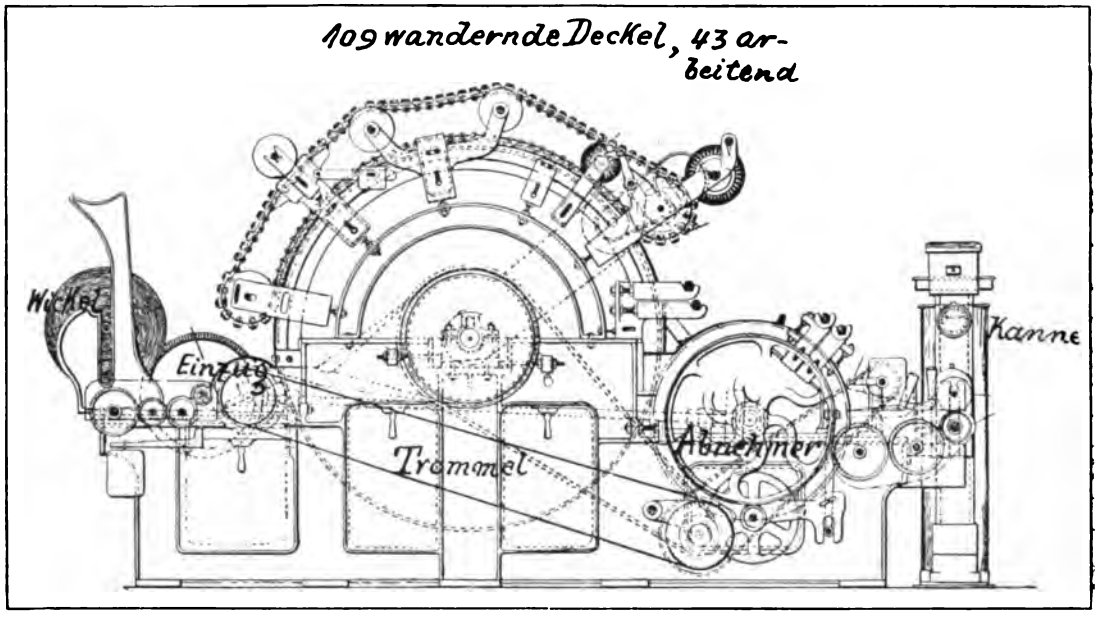


Abbildung 17. Deckelkrempel mit wandernden Deckeln.

schließt sich H und klemmt die etwa 250 mm breite Watte fest. Unmittelbar darauf gelangt die erste Kammreihe des rotierenden Kammes A, der 17 solche Kämme mit zunehmender Satzfeinheit hat, unter den Klemmpunkt, und es beginnt die Auskämmung des vorstehenden Faserbartes. Hierbei werden kurze Fasern und vor allem alle noch vorhandenen Unreinigkeiten entfernt. Ist der letzte Kamm vorbeigegangen, so liefert das Zylinderpaar D ein kurzes Faserbartstück von dem vorher gekämmten Vlies zurück, der belederte Zylinder E (Druckzylinder) senkt sich und preßt die vorderen Spitzen des eben gekämmten Bartes auf ein mittlerweile unter d angelangtes geriffeltes Segment R des Kammkörpers (gezeichnete Stellung in Abbildung 19). Vorher noch senkte sich ein im übrigen fester Kamm (daher Fixkamm) J in das Vlies ein, und bei offener Zange — das Öffnen erfolgt vor Eintreffen des Segmentes R unter E — reißt nun E und D das Bartstück aus der zurückbleibenden Watte heraus, wobei gleichzeitig durch J ein Nachkämmen erfolgt und durch das schuppenförmige Übereinanderlegen der Bärte zwischen D und E die Verbindung zwischen den aufeinanderfolgenden Bärten hergestellt wird (Löten). Die Maschine arbeitet demnach intermit-

tierend, absetzend, doch folgen die Vorgänge in sehr kurzen Zeiträumen, da ein Kammspiel in 1—1/2 Sekunde vollendet wird. Der im rotierenden Kamm sitzenbleibende Abfall wird durch Bürste u abgenommen, an u_1 abgegeben und als Vlies durch einen Hacker abgekämmt.

Man hat auch Maschinen mit nichtabsetzendem Arbeitsvorgang gebaut. Die bemerkenswerteste Type dieser Art ist die Maschine von Emil Hübner, die eine kreisförmige Zange hatte, deren Oberteil den Faserbart ohne Unterbrechung im Kreise herumführte und an die einzelnen Arbeitsstellen leitete. Diese Maschine hat indessen das Heilmannsche System nicht zu verdrängen vermocht, sie ist vielmehr heute selbst von den verbesserten Typen des Heilmannschen Systems vollständig überholt.

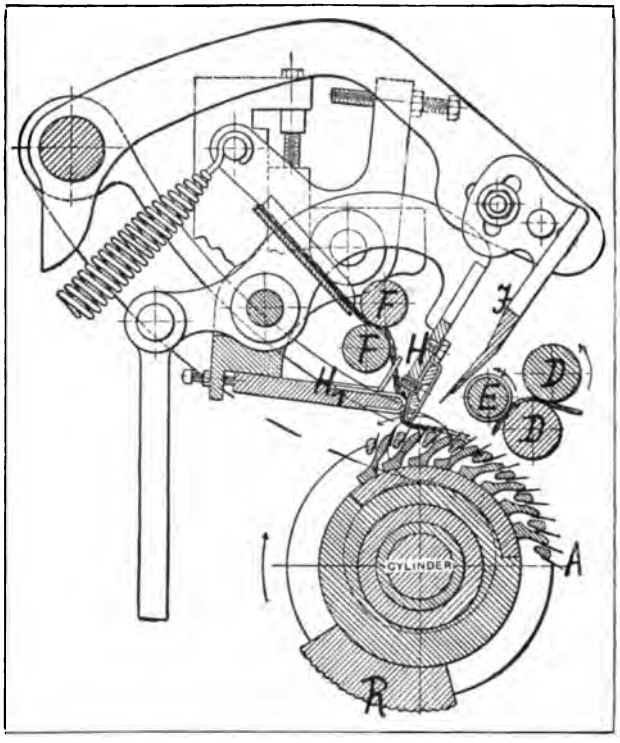


Abbildung 18. Heilmannsche Baumwollkämmaschine.

5. Das Strecken und Dublieren (Doppeln) auf der „Strecke". Da das Kardenband (ebenso das gekämmte Band) in seiner Feinheit (Nummer) noch große Ungleichmäßigkeiten aufweist und die Faserlage eine unregelmäßige ist, muß durch mehrmaliges Strecken zwischen Zylindern eine verbesserte Parallellage der Einzelfasern angestrebt und durch Zusammenlegen (Dublieren) vieler Bänder die Gleichmäßigkeit erhöht werden. Beides verbindet man auf der Strecke, die nach Abbildung 20 aus einem meist vierzylindrigen Streckwerk besteht. Die Zylinder I, II, III, IV rotieren mit zunehmender Geschwindigkeit und verfeinern das Produkt in demselben Verhältnis, in welchem die Dublierung erfolgt, so daß annähernd Verfeinerung (Verzug) und Dublierung sich aufheben und das herauslaufende Band dieselbe Feinheit wie das einlaufende besitzt. Gewöhnlich wird sechs- oder achtfach ver-

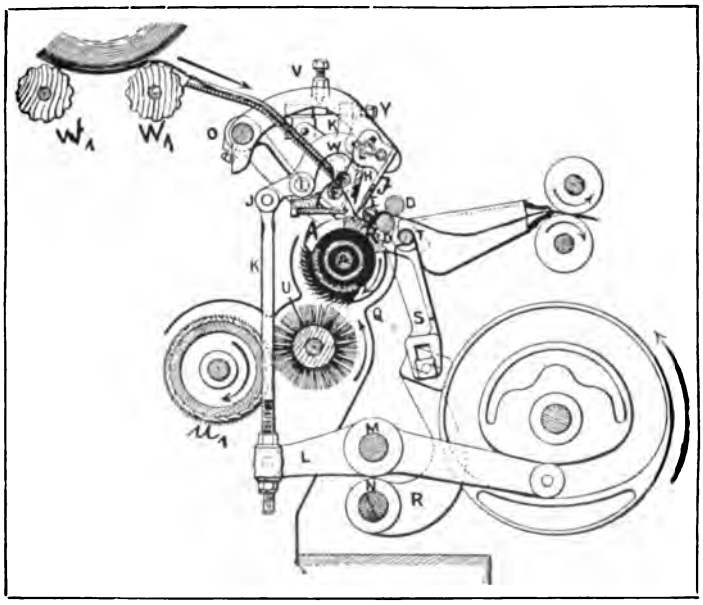


Abbildung 19. Heilmannsche Baumwollkämmaschine.

zogen oder dubliert. Die Zylinder bestehen aus Eisen und sind gehärtet und geriffelt, auf ihnen lagern belastete Druckzylinder, die mit Tuch und Leder bezogen sind, so daß ein gutes Klemmpolster entsteht.

Es würden große Fehler entstehen, wenn zum Beispiel bei einer sechsfachen Dublierung zeitweise nur fünf Bänder zusammenliefen. Da aber das Personal nicht imstande ist, solche Fehler ohne Hilfe einer Kontrollvorrichtung zu verhüten, haben alle Strecken selbstwirkende Absteller, die die Maschine beim Fehlen eines Bandes stillsetzen. Diese Abstellvorrichtungen werden auch für das Wickeln der Zylinder, das Brechen des vorn herauslaufenden Vlieses und das Vollaufen der Kannen verwendet. Die Absteller können nur mechanisch oder elektrisch-mechanisch wirken. Die ersten bestehen dem Prinzip nach aus Fühlhebeln, die durch den Zug der einlaufenden Bänder niedergedrückt werden; sobald das Band reißt, hört der Zug auf, der Fühler richtet sich auf und wirkt sperrend auf einen Schwinghebel, wodurch dieser wieder eine Klinke und den Riemenschalter auslöst. Bei der elektrischen Einrichtung ist die Baumwolle als schlechter Stromleiter zur Isolierung zweier Maschinenteile (Zylinder) benutzt, die mit den Polen einer kleinen magnetelektrischen Maschine verbunden sind. Das Fehlen des Bandes verursacht Stromschluß, der in einem Induktionsapparat die Anwerfung eines Sperrankers und die mechanische Abstellung der Maschine zur Folge hat.

In Abbildung 21 ist die Draufsicht auf eine Strecke mit 3 Köpfen oder Passagen

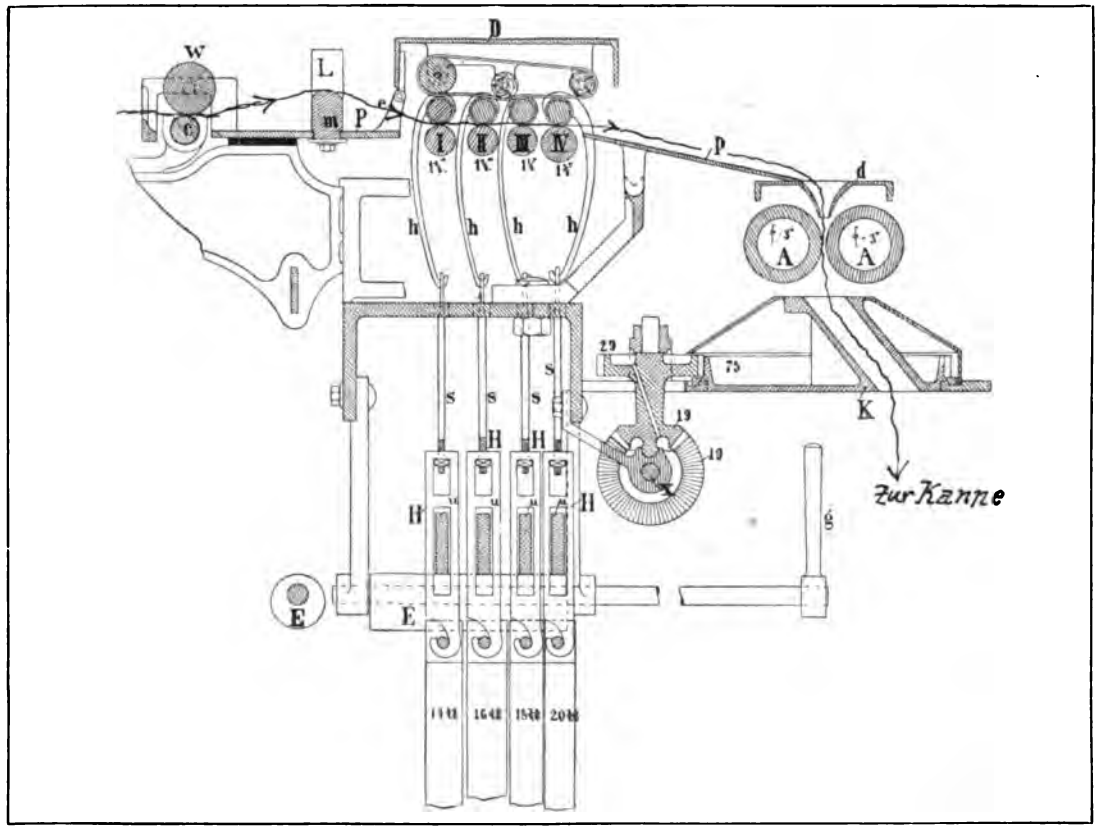


Abbildung 20. Schnitt durch eine Strecke.

Karden der Jutespinnerei und -weberei in Nowawes bei Potsdam.

Zu Johannsen: Die Verarbeitung der Faserstoffe in der Textil- und Papierindustrie.

angegeben. In 1 laufen bei a die Bänder der Karde ein; die Kannen, welche die erstmals gestreckten und dublierten Bänder bei b aufnehmen, gelangen sofort bei C an den Kopf 2, und zwar wieder in gleicher Dublierungszahl. Ein von 1 kommendes Band enthält also zum Beispiel bei sechsfacher Dublierung 6 Kardenbänder; werden 6 solcher Bänder in 2 dubliert, so hat das Einzelband, welches bei d herauskommt, $6 \times 6 = 36$ Kardenbänder, und unter gleichem Verfahren das bei f am Kopf 3 gelieferte $6 \times 6 \times 6 = 216$ Krempelbänder. Für achtfache Dublierung würde man durch dieselbe Methode $8 \times 8 \times 8 = 512$ dublierte Bänder erhalten. Daraus ist ersichtlich, daß die Einzeldublierung sowohl wie die Zahl der Köpfe oder Passagen für die Vergleichmäßigung sehr wichtig ist. Der einzelne Kopf kann bis zu 7 Lieferungen erhalten, normal etwa 4—6.

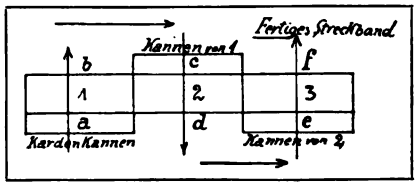


Abbildung 21. Dreikopfige Strecke.

6. Das Vorspinnen besteht in einem fortgesetzten Verfeinern des Fadens, wobei derselbe Arbeitsvorgang mehrmals wiederholt wird, weil es nicht möglich ist, aus dem noch ziemlich groben Band sofort durch starken Verzug ein feines Fertiggespinst herzustellen. Der Vorspinnprozeß wird deshalb gewöhnlich dreimal, für feinere Garne viermal wiederholt; von seiner fünfmaligen Anwendung ist man heute ziemlich abgekommen. Die als Spulbänke bezeichneten Vorspinnmaschinen führen deshalb in Anpassung an die stufenweise Verfeinerung des Fabrikats den Namen Grob-, Mittel-, Fein- und Doppelfeinspulbänke (Flyer, spr. Fleyer). Das Zwischenerzeugnis dieser Maschinen ist schon ein Faden, der, wenn er auch noch ziemlich grob ist, doch schon einer besseren Festigung bedarf, als sie durch die Zusammenpressung und Adhäsion der Fasern allein erzielbar ist. Das Karden- und Streckband (Lunte) enthält eine so große Faserzahl im Querschnitt, daß die Gesamtreibung für genügenden Zusammenhalt sorgt. Aber schon bei gekämmten Bändern, deren Fasern sehr stark in der Längsrichtung parallel gelegt sind, wodurch der Zusammenhalt abnimmt, ist die Festigkeit oft keine ausreichende mehr, und man muß eine leichte Drehung geben, um sie zu erhöhen. Die Vorgespinstfäden der Flyer bedürfen dieser Festigung durch Drehung unter allen Umständen, da die Faserzahl schon viel zu klein geworden ist. Man hat zwei mechanische Mittel, um einen Faden durch Drehung zu festigen: 1. den echten Draht, welcher in der Drehung des Fadens um seine Achse besteht, so daß die Fasern sich in Schraubenlinien legen und einen die Reibung erhöhenden Druck nach einwärts ausüben; solcher Draht kann nach rechts oder links gerichtet sein, für die Wirkung auf die Festigkeit ist das belanglos, immer aber ist er einseitig; 2. den falschen Draht, den man erzielt, wenn die Fäden zwischen zwei aufeinandergepreßte elastische Flächen (z. B. Lederschläuche) gelegt und durch raschen Hin- und Hergang derselben zusammengepreßt, verdichtet, abgerundet werden. Man bezeichnet diesen Vorgang als „Würgeln", „Frottieren" oder „Nitscheln". Eine Drallwirkung in Form der Erzeugung von Schraubenlinien ist hier naturgemäß nicht erzielbar, man hat es also nicht mit einer wirklichen Drehung zu tun und benennt das Verfahren als „falschen Draht". Immerhin ist aber auch auf diesem Wege eine vollständig ausreichende Festigung zu erzielen, nur besitzt das Vorgespinst eine mehr lockere Beschaffenheit und leichtere Löslichkeit in später folgenden Verzügen.

Die Spulbänke der Baumwollspinnerei arbeiten ohne Ausnahme mit „echtem Draht", der mittels einer Flügelspindel erteilt wird (daher auch Flyer). Der Arbeitsvorgang in der Maschine verläuft in drei unmittelbar aufeinanderfolgenden einzelnen

Teilen: a) Verziehen oder Verfeinern (Verzug); b) Drehen oder Festigen (Draht); c) Aufwinden. Nach Abbildung 22 werden die Spulen der vorangehenden Maschine, deren Produkt weiterverarbeitet werden soll (beim Grobflyer wären es die Bänder der Strecke, es müßten also Kannen vorgesetzt werden), hinter dem dreizylindrigen Streckwerk aufgesteckt, das einen drei- bis sechsfachen Verzug gibt. Die Grobbank sollte nicht über vierfach verfeinern, weil die Fasermasse hier noch zu mächtig ist. Auf Mittelfein- und Doppelfeinbank werden stets zwei einlaufende Fäden dubliert, die Grobbank dubliert nicht, da sie das ohnehin durch vielfache Dopplung vergleichmäßigte Band der Strecke verarbeitet. Das austretende Gespinst wird dann sofort durch Flügel F bzw. Spindeln Sp, die in zwei Reihen hintereinander (versetzt) stehen, gedreht, wobei die Fäden durch die hohlen Flügelköpfe und -arme geführt sind; letzteres geschieht, um sie zu schützen, da sie noch sehr locker sind und unter dem Einfluß des Luftwiderstandes und der Schleuderung bei freier Bewegung sich auflösen oder mindestens sehr viel Flug bilden würden. Die Drehung ist nur eine sehr schwache; sie wird gerade so groß gewählt, daß das Gespinst die Aufwindungsbeanspruchung ertragen kann. Bei stärkerer Drehung würde die Lösung im nächsten Streckwerk erschwert sein und ein Garn von ungleichmäßiger Beschaffenheit entstehen. Die Spindeln erhalten bei Grobbänken 600—700, bei Mittelbänken 700—900 und bei Fein- und Doppelfeinbänken 1000—1200 Umdrehungen.

Jeder Spinnprozeß setzt sich aus dem Verfeinern, Drehen oder Festigen und Aufwinden zusammen. Gehört letzteres, rein technologisch aufgefaßt, auch nicht zur Fadenbildung selbst, so ist es doch unbedingt notwendig, um den fertigen Faden derart zu sammeln, daß er in keiner Weise gefährdet wird und möglichst wenig Raum einnimmt. Das Aufwinden wird also immer eine Vollendungsarbeit des eigentlichen Spinnens sein. Um die Fäden in regelmäßigen Schraubenwindungen nebeneinanderzulegen, sind zwei Bewegungen notwendig: 1. die Spule muß rotieren; 2. die Spule ist vertikal hin und her zu führen. Da die Lieferungsmenge in der Zeiteinheit konstant ist, läßt sich die Zahl der für die Aufwindung der Fadenmenge notwendigen Windungen durch den Bruch

$$\frac{\text{Länge}}{\text{Umfang der Spule}} = \text{Windungen}$$

ausdrücken. Infolge der Zunahme des Spulumfanges durch die fortschreitende Bewicklung muß also die Windungszahl abnehmen bzw. die Umlaufzahl der Spule und auch die Vertikalgeschwindigkeit veränderlich sein (je mehr Windungen, desto schneller muß der Spulenträger oder die Spulbank bewegt werden). Diese Veränderlichkeiten werden an den Flyern mittels eines Konustriebes hervorgebracht, wobei ein Riemen automatisch so geschaltet wird, daß die Geschwindigkeit von Spule und Spulbank stets genau dem Windungsdurchmesser entspricht. Die Länge der Maschinen und die von ihr bedingte Belastung des Spulentriebes gestatten es indessen nicht, daß der Konusriemen, der einen Friktionstrieb mit allen dieser Antriebsform anhaftenden Fehlern darstellt, mit der ganzen Belastung beladen wird. Die Zuverlässigkeit der Einrichtung — Vermeidung von Gleitverlusten, die die regelmäßige Aufwindung überhaupt in Frage stellen — erfordert vielmehr eine weitgehende Entlastung des Riemens. Man erreicht dieselbe dadurch, daß der Konustrieb nur die vertikale Bewegung der Spulbank ganz zu übernehmen hat, für die Drehung der Spule läßt man ein Differentialrädergetriebe (Umlaufgetriebe) die konstanten Umdrehungen der Hauptwelle mit den veränderlichen des vom Konus getriebenen Differentialrades derart

kombinieren, daß auf den Riemen nur ein geringer Bruchteil des Gesamtkrafterfordernisses entfällt.

Durch diese Einrichtungen ist die Spulbank sehr kompliziert geworden. Es ist hier eben nicht möglich, die Spule durch den Flügel nachschleifen zu lassen, weil das Vorgespinst das nicht aushalten würde. Statt der Riemenkegel hat man auch Planscheiben (Diskusantrieb) verwendet, und in der Bastfaserspinnerei (Flachs, Hanf usw.) ist ein eigentümlicher Geschwindigkeitswechsel mittels ineinander geschobener Kegel (Expander) vielfach in Verwendung. Die alte Laternenmaschine, eine Vorläuferin der Spulbank, zeigt Abbildung 23. Der durch ein Streckwerk verfeinerte luntenartige grobe Faden lief an zwei Zylinder, die auf dem Deckel eines rotierenden laternenartigen Behälters angebracht waren, und wurde, indem er die Drehung aufnahm, in das Innere der Laterne abgelagert. Durch einen türartigen Verschluß konnte das Vorgespinst herausgenommen werden. Hier war also noch keine eigentliche Aufwindung vorhanden, das Gespinst wurde ähnlich wie bei einer Kanne abgelagert.

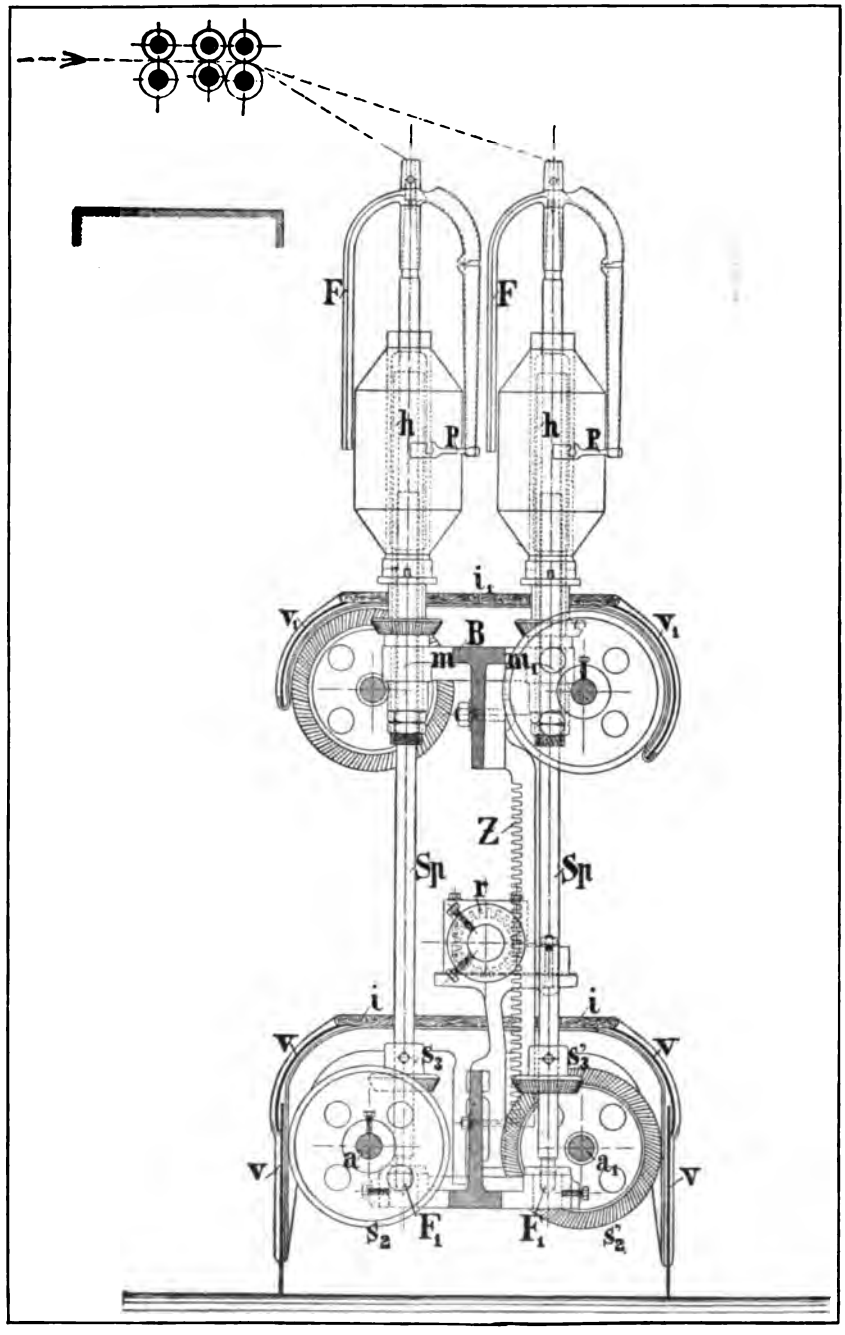


Abbildung 22. Schnitt durch eine Spulbank (Flyer).

Abbildung 24 zeigt einen Saal mit Wanderdeckelkarden und Flyern der Spinnerei Schwarzenbach.

7. Das Fertig- oder Feinspinnen.

a) Flügelspinnerei. Die Maschine gleicht dem Prinzip nach dem Flyer; sie hat ein dreizylindriges Streckwerk, das horizontal liegt, und dreht den Faden durch einen kleinen Flügel, an dem der Faden frei entlang geführt wird, weil seine Sicherung gegen die Luftströmung hier nicht mehr notwendig ist. Die Aufwindung ist viel einfacher als beim Flyer und gleicht derjenigen des Tretrades, d. h. der Flügel schleppt durch den Faden die Spule, und die Windungszahl wird dem zunehmenden Spulendurchmesser durch den regulierenden Einfluß der Fadenspannung angepaßt (vgl. S. 179).

b) Die Ringspinnmaschine ist, wie S. 179 schon ausgeführt wurde, im Tretrad durch die Umkehrung, welche in der Schleppung des Flügels durch die angetriebene Spule liegt, schon enthalten. Durch Weglassung des Flügels und Führung der Flügelöse in Form eines Läufers auf einem Stahlring, wobei die Spule durch den Faden den Läufer nach sich zieht, entsteht die Ringspinnmaschine, die vor der Flügelmaschine den Vorzug hat, daß die Fadenbelastung viel geringer ist und infolgedessen die höchste Geschwindigkeitsgrenze viel höher liegt. Nach Abbildung 25 liegt das Streckwerk schräg (20—35°), damit der Faden nicht zu stark über den liefernden Vorderzylinder hinwegreibt. Die Spule, die auf einem als Spindel Sp bezeichneten rotierenden Spulenträger sitzt, zieht den Läufer l nach, der auf Ring r geführt ist. Letzterer erhält mit der Ringbank R vertikale Auf- und Abbewegung. Die Aufwindung erfolgt in Kegelschichten und ist derjenigen des Selfaktors nachgebildet (Copwindung Abbildung 26), so daß das Garn später von der stillstehenden Spule in der Achsrichtung abgezogen werden kann. Die Vertikalbewegung der Ringbank entspricht der Höhe der Bewindungskegel, und da nach der Begründung für die Flyerwindung (s. oben) die Windungszahl und die Hubgeschwindigkeit sich verkehrt zum Durchmesser verhalten, muß die Ringbank an der Kegelbasis die kleinste, an der Spitze des Kegelstutzes die größte Geschwindigkeit erhalten. Das führt dazu, daß zu Beginn, wenn auf die noch leere, fast zylindrische Aufsteckhülse oder Spule gewunden wird, die einzelne Schicht unten dicker als oben ausfällt. Erhält nun die Ringbank durch ein Schaltwerk S (Abbildung 25) außer der Hubbewegung noch eine Fortschaltung um bestimmte Beträge nach aufwärts, so findet nach und nach die Herstellung

Abbildung 23. Laternenmaschine.
(Kopie nach dem engl. Original im Deutschen Museum in München.)

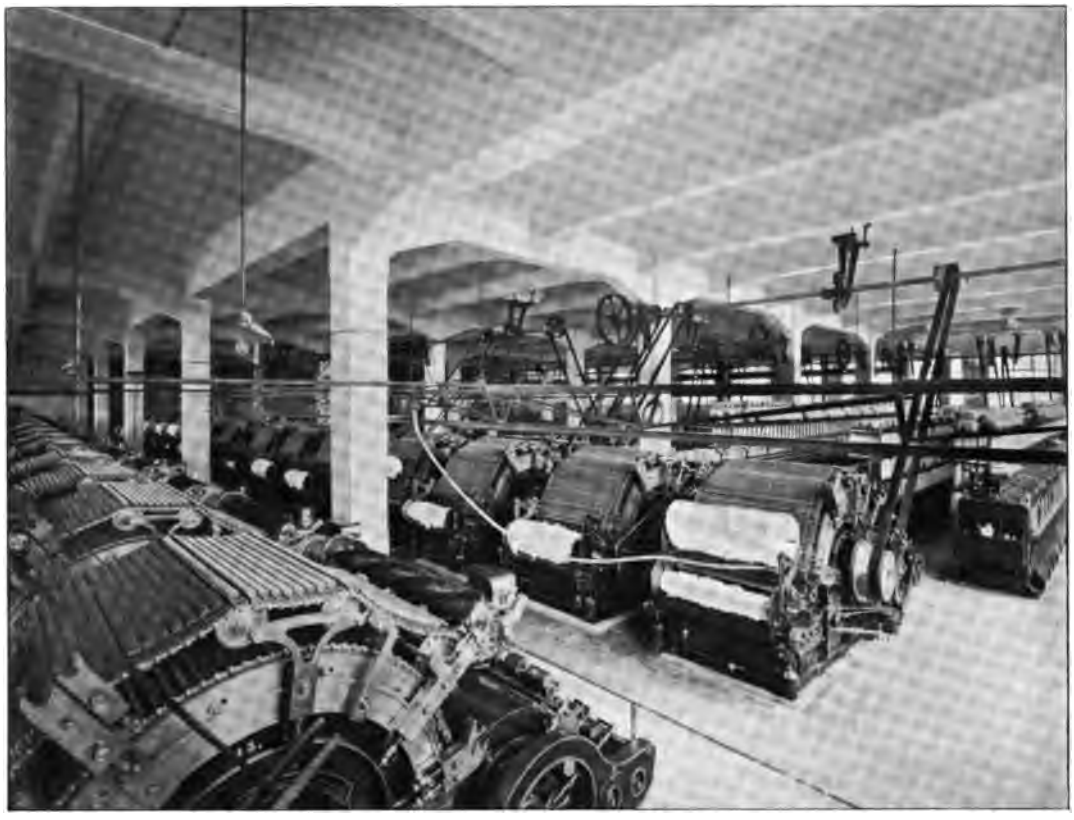


Abbildung 24. Krempel- und Vorspinnsaal der Baumwollspinnerei Schwarzenbach a. S.

des Normalkegels von oben und unten gleicher Schichtendicke statt, auf den dann alle übrigen Kegel durch stetige Fortrückung aufgesetzt werden.

Da der Läufer etwas hinter der Spule zurückbleibt (schlüpft) und dies an der Kegelspitze behufs Erzielung größerer Windungszahlen mehr geschieht als an der Basis, ist das Garn der oberen Partien weniger als das der unteren gedreht. Der Fehler findet indessen seinen Ausgleich bei der Abwindung, weil jede Windung wieder eine Drehung erzeugt und nun umgekehrt an der Spitze mehr und an der Basis weniger Zusatzdrehungen entstehen.

Die Fadenspannungen wechseln an der Ringmaschine, da sie einerseits die Aufwindung zu regeln haben, anderseits aber auf die Ausbauchung des entstehenden Fadenballons, der eine veränderliche Höhe hat, Einfluß ausüben. Die Spannung wächst für den kleinsten — sogenannten gefährlichen — Durchmesser und sinkt für den größten. Diese ungünstigen Nebenumstände verhindern es, das Gespinst auf sehr kleine Durchmesser, wie sie zum Beispiel die leere Spindel mit etwa 6 mm Dicke hat, aufzuwinden, ohne daß zahlreiche Fadenbrüche auftreten. Auch das Spinnen sehr weicher Garne wird erschwert. Indessen liegen doch zahlreiche Versuche vor, eine ähnliche Windung wie beim Selfaktor (leere Spindel, weiche Drehung) zu erzielen. Zunächst ist die Beschränkung des gefährlichen Fadenbogens wichtig, der sich infolge des steilen Fadenablaufes auf dem Lieferzylinder bildet (vgl. Abbildung 25). Dieses Fadenstück frottiert auf dem Zylinder und nimmt die Drehung nicht voll auf,

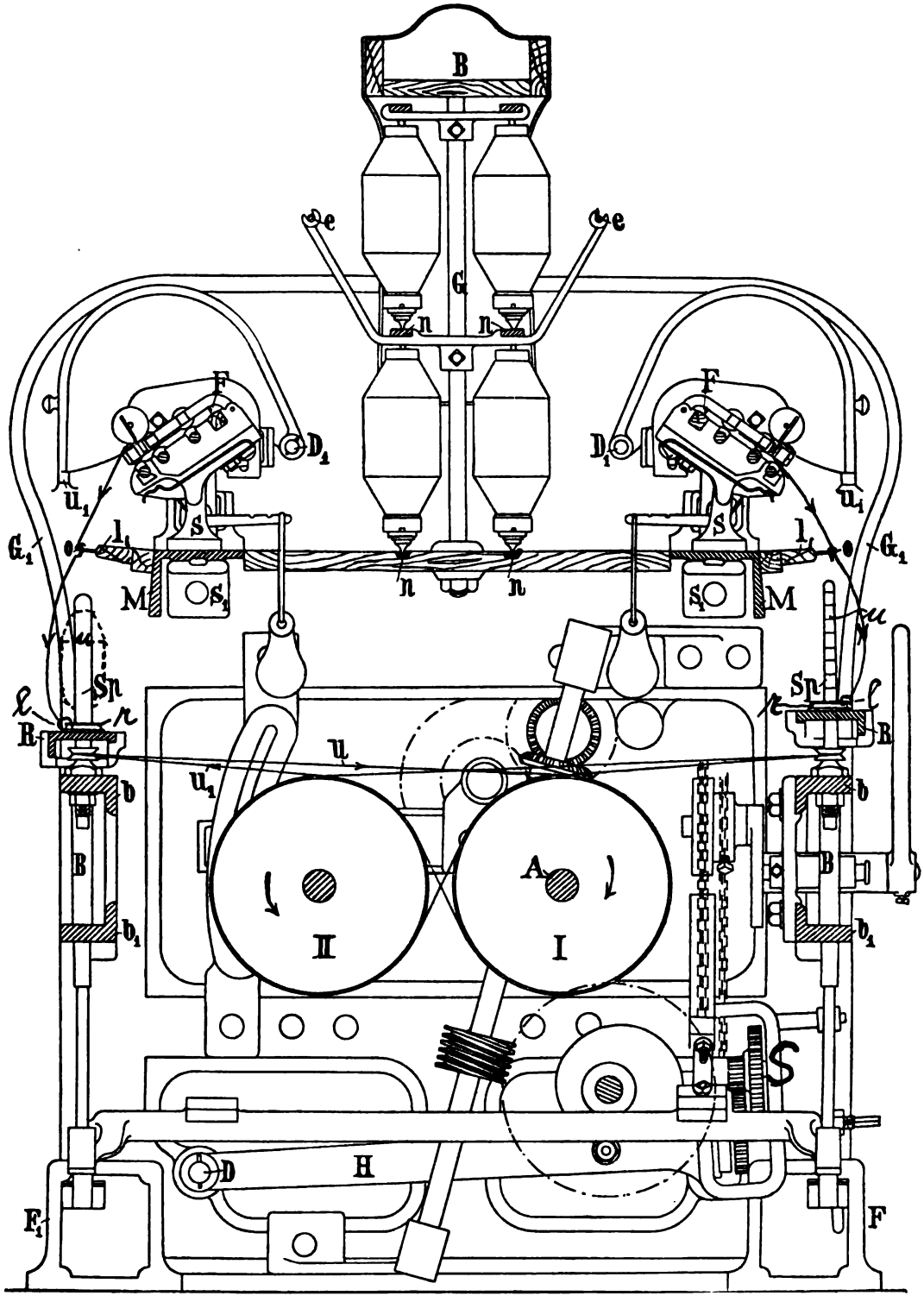


Abbildung 25. Ringspinnmaschine.

reißt also leicht. Man begegnet dem Fehler durch stärkere Neigung des Streckwerkes, auch geneigte Lagerung der Spindel wird hiergegen angewendet. Ein weiterer Übelstand liegt darin, daß man behufs Erzielung hinreichend fester (harter) Basiswindung mit Läufern arbeiten muß, die schwerer sind, als sie für die Spitze, wo ohnedies der Fadenzug gefährlicher ist, zu sein brauchen. An der Basis erreicht nämlich der Fadenzug sein Minimum, was zur Folge hat, daß dieser Teil bei ungenügender Schwere des Läufers oder Travellers weich ausfallen würde, jedenfalls aber zu weich, wenn man den für die Spitze richtigen leichteren Läufer zur Anwendung brächte. Paley hat den Vorschlag gemacht, den leichteren Läufer anzuwenden, ihn aber durch einen für die Basiswindung in die Läuferbahn geschobenen Bremsring (Paley's brake ring) auf richtige Fadenbelastung abzubremsen. Der Vorschlag ist theoretisch nicht übel, er trifft den wundesten Punkt der Aufwindung, aber seine praktische Durchführung scheiterte an der Schwierigkeit, die Bremswirkung vor Zufälligkeiten — Flugbildung usw. — zu schützen. In neuerer Zeit ist ein älterer Gedanke, die Verminderung der Geschwindigkeit bei Windung der Kegelspitze, wieder aufgegriffen und namentlich von den elektrotechnischen Fabriken für elektrischen Antrieb ausgebildet worden. Die Ringmaschine ist wie keine andere Spinnmaschine für den elektrischen Einzelantrieb geeignet, da sie sehr gleichmäßig arbeitet und keine Arbeitsstöße verursacht. Abbildung 27 zeigt einen Ringmaschinensaal mit Einzelantrieb und verstellbarer Geschwindigkeit durch Verschiebung der Bürsten eines Einphasenkollektormotors. Die Anwendung dieses Systems begegnet allerdings in der Praxis nicht allenthalben Zustimmung, doch ist zuzugeben, daß die Geschwindigkeitsabnahme den Zug im Faden schwächt. Das wesentliche Moment bleibt aber immer die in den Spinnprozeß zurückgreifenden Einflüsse der Aufwindung, und es wird nie möglich sein, bei einem kontinuierlichen Arbeitsvorgang diese Rückwirkungen ganz auszuschalten.

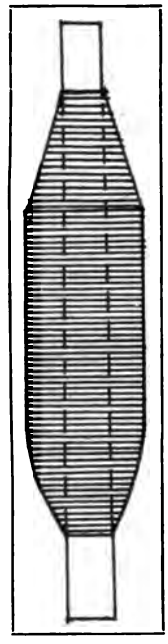


Abbildung 26. Copwindung.

c) Das Spinnen auf Selfaktoren erfolgt wie mit der Handspindel und dem Handrad getrennt vom Aufwinden, wodurch die Aufwindungszeit für die Produktion verloren geht (im Mittel 30—35 %). Der Streckwerkselfaktor, wie ihn Crompton 1779 erfand, besteht in seinen Hauptteilen nach Abbildung 28 aus einem dreizylindrigen Streckwerk (für etwa vier- bis zehnfachen Verzug) und einer Spindelreihe (heute bis 1200 und mehr Spindeln), die in dem Wagen W in schräger Stellung gelagert ist. Der gewöhnliche Selfaktor für grobe und mittlere Nummern arbeitet in drei Perioden:

α) Ausfahrt. Das Streckwerk verzieht, die Spindeln drehen den Faden (6000 bis 11000 Spindelumläufe), wobei letzterer für jede Drehung über die Spindelspitze abspringt, der Wagen fährt nach I aus und hält die Fäden gespannt. Ist eine Wegstrecke von etwa 1,6—1,7 m zurückgelegt, so bleibt er stehen, und es tritt

β) das Abschlagen oder Rückwinden ein. Hierbei dreht sich die Spindel einigemal zurück und liefert das Fadenstück, das zwischen der Anwindestelle und der Spindelspitze auf der freien Spindel liegt, zurück. Gleichzeitig senkt sich das Aufwindeorgan α (Aufwinder) an die Anwindestelle herab, während der Gegenwinder γ unter Belastung gehoben wird und das freigewordene Fadenstück spannt. Damit wird die nächste Periode,

γ) die Aufwindung oder Einfahrt, vorbereitet. Während derselben läuft der Wagen beschleunigt und schließlich verzögert ein und führt hierdurch der Spindel

den Faden zur Aufwindung zu. Der Aufwinder *a* senkt sich zunächst rasch, wird dann aber langsam gehoben, so daß zwei Windungen entstehen, eine steile und eine flachgängige; die erste legt sich trennend zwischen zwei flache Hauptwindungen und wird als Kreuzwindung bezeichnet. Sie verhindert die Störungen bei der Abwindung, die entstehen können, wenn die Windungen zweier Schichten aneinander hängenbleiben. Die Bildung des Garnkörpers (Kötzer, Cop) erfolgt ganz selbsttätig und erfordert für die Windung in Kegelschichten, die man wegen der vom Webschützen geforderten achsial gerichteten Abwindung anwendet:

Abbildung 27. Ringspinnsaal mit direktem Antrieb von Ringspinnmaschinen durch Einphasen-Kollektormotoren von Brown, Boveri & Cie., A.-G., Mannheim-Käferthal.

1. eine zwangläufige Bewegung des Aufwinders durch die Windeschiene (Copping rail), deren Kurven Parabeln sind;
2. die gesetzmäßige Bewegung der Spindeln proportional zur Wagengeschwindigkeit, aber verkehrt proportional zu den stets wechselnden Windungsdurchmessern, durch den Quadrantenapparat; und
3. die Schaltung der Windeschiene so, daß eine bestimmte Form des Wickelkörpers entsteht.

Es steht hier nicht der Raum für eine eingehendere Behandlung der Vorgänge zur Verfügung, doch sei darauf hingewiesen, daß die Windevorrichtung des Selfaktors in der Tat eine fast vollständig selbsttätig wirkende ist, an welcher Generationen gearbeitet haben, bis sie zur heutigen Vollendung gelangte. Die Form eines Selfaktor-Kötzers nach etwa halber Fertigstellung zeigt Abbildung 29.

Für feine Gespinste tritt zu den oben erörterten drei Arbeitsperioden eines Wagenspiels eine vierte, der Nachdraht. Es wird dann während der Ausfahrt nicht der volle Draht erteilt, sondern ein Bruchteil von etwa 15—20 % gelangt erst in den Faden, wenn der Wagen außen stillsteht. Für mittlere Feinheiten ist der Nachdraht indessen nicht erforderlich.

Die Selfaktoren eignen sich weniger für den elektrischen Antrieb, weil der Kraftbedarf innerhalb eines Spiels von etwa 15 Sekunden zweimal fast bis auf Null sinkt und zu Beginn der Ausfahrt plötzlich — beim Anlaufen der Spindeln — den Maximalwert erreichen muß. Doch werden Gruppenantriebe angewendet. Ein Selfaktorsaal ist in Abbildung 30 wiedergegeben (Spinnerei Schwarzenbach).

II. Die Baumwollstreichgarnspinnerei oder Zweizylinderspinnerei, auch Barchentspinnerei beruht in der Hauptsache auf denselben Grundsätzen wie die Wollstreichgarnspinnerei, nur die Reinigung ist natürlich dieselbe wie bei der Baumwollstreckwerkspinnerei. Demnach decken sich die Arbeitsvorgänge des Reinigens, Auflösens und Krempelns im wesentlichen mit den oben beschriebenen. Für das Krempeln werden vornehmlich Walzenkarden zweimal nacheinander verwendet, in selteneren Fällen dreimal (Zwei- und Dreikrempelsätze). Charakteristisch für die letzte Krempel ist der Vorspinnapparat (Florteiler), auf dessen Beschreibung bei der Wollstreichgarnspinnerei verwiesen werden kann. Als Feinspinnmaschine gelangt nur der Selfaktor zur Anwendung, jedoch nicht in der von Crompton angegebenen Ausführung mit Streckwerk, sondern als Jennymaschine mit Wagenverzug (Maschine von Hargreaves, vgl. S. 181).

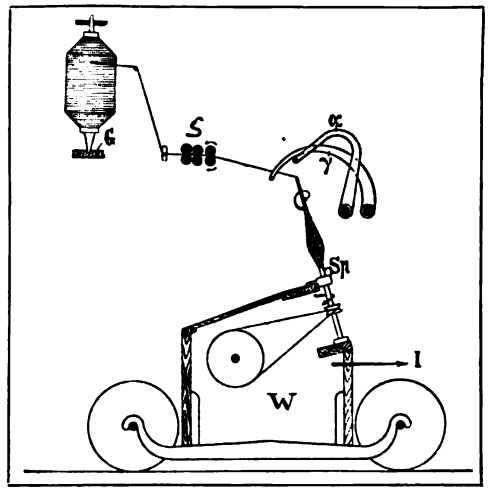


Abbildung 28. Streckwerkselfaktor.

Auch diese Maschine ist in der Wollstreichgarnspinnerei erörtert. Die Flügel- und Ringmaschine kommt für das Streichgarnverfahren bis jetzt nicht in Betracht, wenn auch Versuche vorliegen, sie einzuführen.

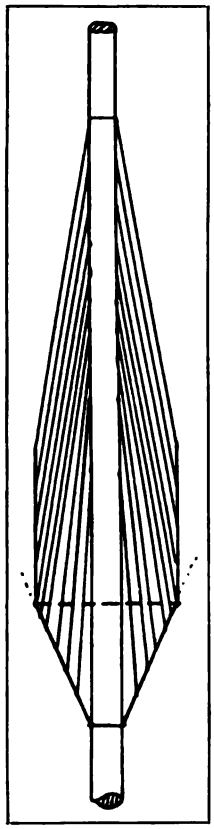


Abbildung 29. Selfaktor-Kötzer.

Das Streichgarnverfahren arbeitet ganz ohne Streckwerk, liefert also auch Garne von anderer Beschaffenheit (rauher, weniger glatt). Für Abfälle, kürzere Rohstoffe (ostindische Baumwolle usw.) ist das Verfahren sehr geeignet, doch können nur grobe Garne mit demselben gewonnen werden.

Die Fertigstellung der Garne besteht aus dem Zwirnen (Zusammendrehen mehrerer Fäden) oder aus dem Haspeln in Strangform und dem Verpacken der Stränge. Die Zwirnerei hat sich zu einer sehr bedeutenden Industrie entwickelt. Ihre Maschinen arbeiten wie die Flügel- oder Ringmaschinen, doch fehlt natürlich das Streckwerk, und die Konstruktion ist gewöhnlich eine kräftigere.

DIE BASTFASERSPINNEREI. Zu dieser Gruppe gehört in erster Linie:

I. Die Spinnerei des Flachses und Hanfes, die wegen der großen Ähnlichkeit gemeinsam erörtert werden möge. Die (vgl. Bd. I, S. 370) fertiggehechelten Faserbündel haben folgenden Arbeitsprozeß zu durchlaufen:

1. Anlegen auf der Anlegemaschine (Spreader);
2. Strecken und Dublieren auf den „Durchzügen" (meist dreimal, seltener viermal);
3. Vorspinnen auf einer Spulbank (einmal);
4. Fertig- oder Feinspinnen auf Flügelmaschinen und — jedoch seltener — Ringspinnmaschinen;
5. Trocknen und Fertigstellen.

1. und 2. Das Anlegen und Strecken erfolgt auf Maschinen von fast gleicher Bauart, nur hat die Anlegemaschine ein schräg ansteigendes Streckwerk (Hechelfeld), während die „Durchzüge" horizontale Verzugsfelder haben. Die Anlegemaschine hat nach Abbildung 31 ein niedriggelegtes und von oben leicht zu bedienendes Zufuhrtuch z, auf dem der Arbeiter die Flachszöpfe derart schuppenförmig aufeinanderlegt, daß die dünneren Zopfenden sich ausgleichen und die Auflage gleichmäßig ausfällt. Zwei Streckzylinderpaare a b geben dem Material starken Verzug, im Verzugsfeld befinden sich Nadelstäbe, die schneller als der Einzug, jedoch wesentlich langsamer als

Abbildung 30. Spinnsaal der Baumwollspinnerei Schwarzenbach a. S.

der Abzug mit dem Faserstoff bewegt werden, indem die Stabenden in den Gangnuten rotierender Schrauben liegen und die Stäbe selbst auf Tischen geführt sind. Diese Einrichtung ist notwendig, weil die Fasern sehr lang sind und der Zylinderabstand diesen längsten Fasern angepaßt werden muß, die vielen kurzen Fasern also ohne eigentliche Führung zwischen a b bewegt und zur Bildung von Ungleichmäßigkeiten im Verzugsfeld Anlaß geben würden.

Die Nadelstäbe (Gillstäbe, Faller) geben allen Fasern bestimmte Führungsgeschwindigkeit, und indem der Zylinder b die Faserspitzen erfaßt und die Reibung an den langsamer bewegten Nadeln die Fasern zurückhält, erfahren letztere nicht nur im Abziehen eine Streckung und Parallelisierung, sondern es wird auch verhindert, daß kurze Fasern zu plötzlich herausgerissen und zu verdickenden Büscheln angehäuft

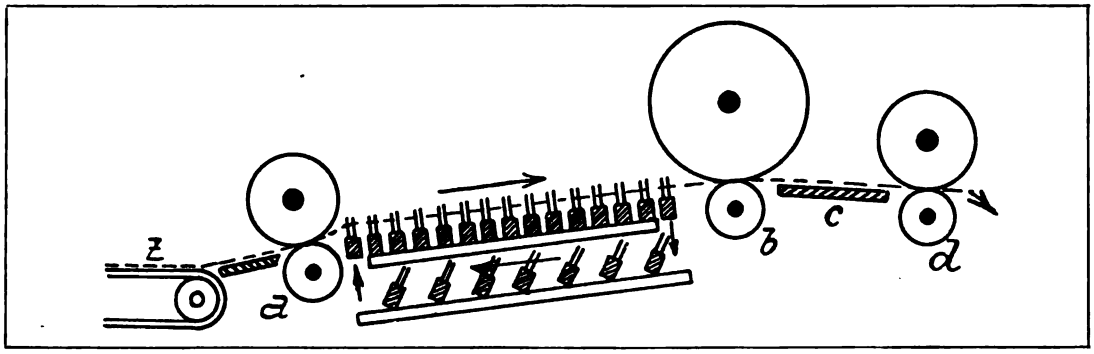


Abbildung 31. Anlegemaschine für Flachs.

werden. Die Nadelstäbe (Hechelstäbe) gestatten auch die Anwendung dickerer Fasermassen, weil für die Exaktheit des Verzuges nicht der Klemmpunkt, den die Hinterzylinder (Einzugzylinder) bilden, allein in Betracht kommt, sondern der Verzug wird durch die zahlreichen Reibungspunkte an den Nadeln gewissermaßen gesichert. Hierdurch steigt auch die Produktion.

Für die Dublierung haben die Anlegemaschinen und Durchzüge sogenannte Bandplatten C (Abbildung 31 u. 32), durch deren Schlitze die Breitbänder um 90° abgeleitet und übereinandergedoppelt zur Abführwalze d geführt und in einer Kanne abgelegt werden. Die Walze d setzt mittels Schneckentrieb ein Signalwerk (Glocke) in Gang, durch welches die Ablage einer bestimmten Bandlänge signalisiert wird. Der Arbeiter reißt dann ab. Hierdurch gelangt in alle Kannen dieselbe Bandlänge (Klingellänge), und wenn nun zum Beispiel auf der nächsten Maschine — dem ersten Durchzug — 12 Bänder dubliert werden sollen, so setzt man diejenigen Kannen zusammen, deren summiertes Bandgewicht einem bestimmten konstanten Ansatzgewicht entspricht. Dies bildet die ausgeglichene Grundlage des Spinnprozesses. Die Durchzüge (Flachsstrecken) entsprechen vollständig den Anlegern, nur fällt das Einlauftuch fort, und das Hechelfeld liegt horizontal, weil es nicht nötig ist, ein tiefliegendes übersichtliches Anlegetuch anzuordnen.

Die Gillstäbe, welche das Material im Verzugsfelde führen, werden vor dem Zylinder b durch Daumen abwärts in ein schneller umlaufendes oder doppelgängiges Schraubenpaar gebracht, das ihre Rückbeförderung an die

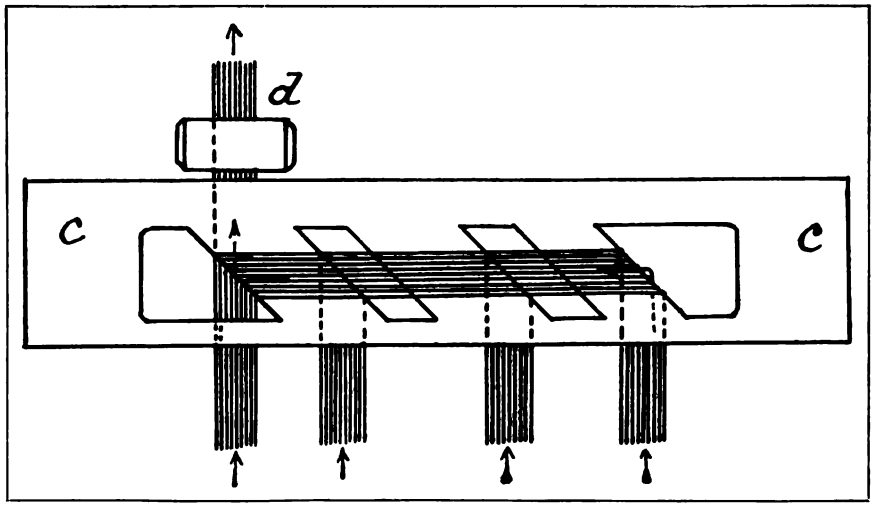


Abbildung 32. Banddublierplatte.

Zylinder a mit doppelter Geschwindigkeit vollzieht, damit weniger Stäbe im Leerlauf gehen. Statt der Schraubenförderung werden auch endlose Ketten, an welchen die Stäbe pendelnd angebracht sind, verwendet (Kettenstrecken). Es ist dann jedoch erforderlich, daß die Stäbe durch irgendeine Vorrichtung beim Ein- und Austritt die Fasermasse wenigstens annähernd senkrecht zu dieser verlassen.

3. Für das Vorspinnen wird eine Passage Spulbank (Flyer) benutzt. Das Streckwerk ist hier auch zweizylinderig mit zwischenliegendem Hechelfeld ausgeführt. Die Drehung erfolgt durch Flügelspindel mit Fadenführung im hohlen Flügelarm, und für die Aufwindung sind dieselben Gesetze einzuhalten, wie sie S. 194 für den Baumwollflyer abgeleitet wurden. Auch die Mittel zur Erzielung der veränderlichen Geschwindigkeiten von Spule und Spulbank sind zum Teil dieselben, zum Teil ähnliche.

4. Das Feinspinnen der Flachs- und Hanfgarne wird vornehmlich auf Flügelmaschinen durchgeführt, Ringmaschinen eignen sich weniger hierfür. Bemerkenswert ist die Verzugseinrichtung, nach welcher man Trockenspinnmaschinen, Halbnaß- und Naßspinnmaschinen unterscheidet. Das Trockensystem besteht aus zwei Streckzylindern mit zwischenliegender Führungsrinne (oder Führungszylindern); Hechelfelder sind hier nicht anwendbar. Der trocken gesponnene Faden fällt jedoch rauh und haarig aus und ist nur für bestimmte Zwecke geeignet. Die Halbnaßspinnerei arbeitet mit der Benetzung des Vorgarnfadens, der vor dem Streckwerk einen Trog mit kaltem Wasser passiert. Der Faden fällt hierdurch glatter aus. Weitaus am meisten wird jedoch heute die Naßspinnmaschine (Heißwassermaschine) verwendet. Wie Abbildung 33 zeigt, läuft das Vorgespinst durch einen Trog t, der mit heißem Wasser gefüllt ist. Hierdurch findet eine Erweichung der die Einzelbastzellen verbindenden Substanz statt, und wenn nun die Zylinder enger gestellt sind, als die Faser lang ist, bewirkt die Verzugsspannung eine Verschiebung der Einzelzellen und damit die Verfeinerung. Demnach werden die Heißnaßmaschinen mit kurzem Zylinderabstand arbeiten müssen (short reach), während die Halbnaß- und Trockenmaschinen lange Abstände (long reach) verlangen. Die Drehung gibt eine Flügelspindel F, welche die gebremste Spule u durch den Faden schleppt und hierdurch die Aufwindung vermittelt. Schutzwände y verhindern das Herumspritzen des Wassers. Die Spindel erhält 2000 bis 4000 Drehungen. Wenn auch Versuche und zum Teil bemerkenswerte Vorschläge vorliegen, den Selfaktor für das Feinspinnen

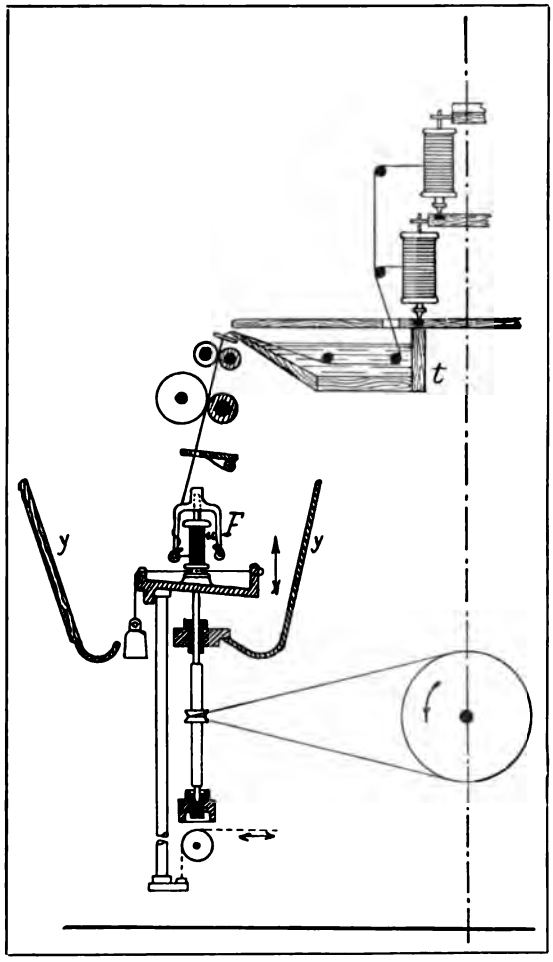


Abbildung 33. Naßspinnmaschine für Flachs.

der Bastfasern zu verwenden, so ist dieses Gebiet doch noch lange nicht in das Stadium praktischer Bedeutung getreten. Die Ringmaschine ist für das Naßspinnen aus verschiedenen naheliegenden Gründen schwer verwendbar, namentlich der Umstand, daß die gelösten pflanzlichen Teile und die Schäbeteilchen sich an Ring und Läufer setzen, erschwert die Sache erheblich. Auch die Härte des Materials ist für die Bewegung im Läufer wenig förderlich.

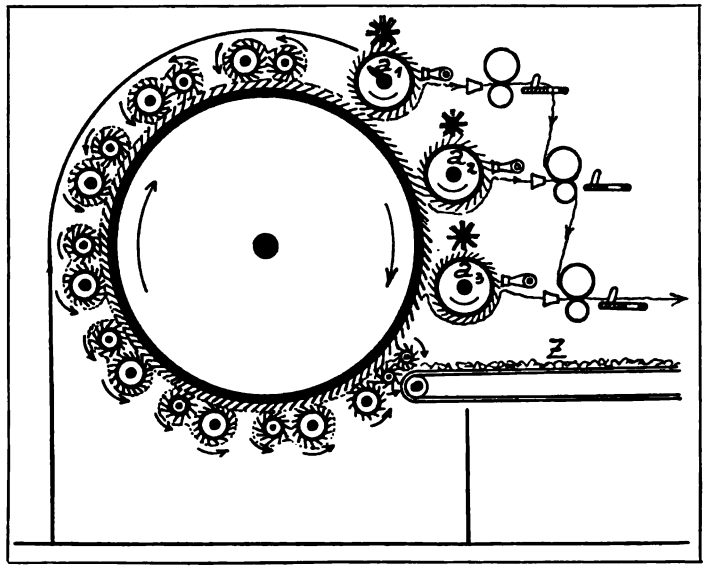


Abbildung 34. Wergkrempel.

II. Die Werg- oder Abfallspinnerei (Hedespinnerei, Tow spinning) des Flachses und Hanfes verarbeitet vornehmlich die Hechelabfälle aus der Hechelei. Dieses Material ist sehr stark mit Holzteilchen (Schäbe) durchsetzt und muß zunächst gereinigt und gelöst und dann kardiert werden. Die langen Fasern des Flachses und Hanfes können einem Krempelprozeß nicht unterworfen werden, die kurzen der Hede sind hierzu jedoch geeignet. Der übrige Spinnprozeß gleicht dann wieder dem oben beschriebenen, so daß die Aufeinanderfolge folgende ist: a) Schlagen und Reinigen; b) Kratzen oder Krempeln auf der Wergkrempel; c) Strecken und Dublieren auf Durchzügen (zwei- bis dreimal); d) Vorspinnen auf Spulbänken (einmal); e) Fertigspinnen auf Flügelmaschinen.

Als bemerkenswert wäre hier also nur die Wergkrempel, die von anderen Karden erheblich abweicht, zu besprechen. Nach Abbildung 34 ist diese Maschine eine Walzenkrempel mit Arbeiter- und Wendewalzen, die am Umfang eines großen Tambours gruppiert sind (vgl. S. 188). Der Einlauftisch für Handauflage befindet sich bei Z; die Beschläge bestehen aus in Holz oder starkes Leder gesetzten geraden Stiften, sind also sehr grob. Statt eines Abnehmers befinden sich hier 3 an derselben Seite wie der Einlauf angeordnet, a_1, a_2, a_3; von diesen wird a_1 am weitesten zu der Trommel gestellt, a_2 enger und a_3 am engsten. Infolgedessen nimmt a_1 die groben Fasern auf, a_2 und a_3 führen die feineren ab, d. h. die Abnahmemenge wird auf drei Stellen verteilt. Schlagkämme (Hacker) kämmen die Vliese von a_1, a_2, a_3 ab, worauf durch eine Dreiteilung jedes Einzelvlieses mittels Trichter und Bandwalzen je 3 Breitbänder, im ganzen also 9 Bänder entstehen. Gewöhnlich laufen letztere dann durch einen Gillkopf und ergeben auf einer Dublierplatte ein Band, das in eine Kanne abgelegt wird. Mitunter läßt man die Bänder zum Teil, z. B. das von a_1, für sich ablaufen. Die letzten Lieferzylinder, die in die Kanne ablegen, haben wieder einen Klingelapparat für Abmessung gleicher Längen (vgl. oben S. 203). Die Kardenkannen gelangen dann vor den ersten Durchzug. Für Hanfhede, die gröber ist, pflegt man zwei Krempeln anzuwenden, eine Vorkrempel, der das Material sehr dick vorgelegt wird, und eine Feinkrempel, die mit Gillkopf verbunden ist. Die oben beschriebene Karde, bei welcher die Walzen ganz um den Tambour herumgelegt sind

(Zirkularkarde), wird für Hanfhede heute weniger verwendet, meist liegen die Walzen hier an der oberen oder unteren Trommelhälfte verteilt (Halbzirkularkarde).

Aus Hanfgarnen werden Schnüre (Bindfaden) und Seile hergestellt. Die Bindfadenfabrikation vollzieht zunächst die Gewinnung der Einzelfäden; aus den Zwirnen werden Schnüre, Kordeln, Litzen usw. gebildet. Um die rauhen Oberflächen glatt und geschmeidig zu erhalten, gelangen die Bindfaden auf Streich- und Poliermaschinen, auf welchen sie durch Aufbringung eines Stärkepräparats und darauffolgendes Streichen, Polieren und Trocknen geglättet, gefestigt und gegen Abnutzung widerstandsfähiger gemacht werden.

III. Die Jutespinnerei. Man kann den Jutehanf als Kurz- oder Langfaser verarbeiten (vgl. E. Pfuhl: „Die Jute und ihre Verarbeitung"; Berlin, Jul. Springer). Die Faser ist jedoch so wenig geschmeidig, daß sie vor der Verarbeitung unter allen Umständen weich gemacht werden muß. Es geschieht dies zunächst durch Einsprengen mit Wasser und Robbentran oder auch mit Erdöl und Tran (vgl. Bd. I, S. 376, Batschen der Jute). Das Fett zieht sich in die Faser und macht sie schlüpfrig. Darauffolgendes Bearbeiten in sogenannten Quetschmaschinen, welche aus vielen Riffelwalzen bestehen, macht die Faser auf mechanischem Wege geschmeidiger.

Das englische Spinnverfahren verarbeitet lange Juteristen (600—800 mm) nach ungefähr demselben Verfahren, das auch für langen Flachs und Hanf verwendet wird. Auf dem Kontinent gelangt durch Reißen verkürztes Material zur Anwendung, für das man nach Art der Hedespinnerei den Krempelprozeß benutzen kann. Im übrigen gleicht die Jutespinnerei, möge nun die erste Maschine eine Anlegemaschine, wie bei Langflachs, oder eine Krempel sein, in der Aufeinanderfolge der Durchzüge, Spulbank und der Feinspinnmaschinen für Trockenspinnen den oben für Flachs und Hanf beschriebenen Verfahren. Garne, die aus langer gehechelter Jute hergestellt werden, bezeichnet man als Jutehechelgarne, solche aus kurzer gerissener Jute als Jutewerggarn.

IV. Die Nesselfaser der Ramiepflanze (Chinagras) ist ein vortreffliches Spinnmaterial, das aber bis jetzt nur vereinzelt verarbeitet wird. Die Gewinnung der Faser ist eine schwierige und erfordert chemisch-mechanische Bearbeitung. Bewährt hat sich die Entrindung im grünen, frischen Zustande und die sofortige Abscheidung der Fasern, wodurch vermieden wird, daß die noch gelösten Bestandteile verhärten. Das mechanische Abscheiden besteht in der Hauptsache aus einer Zertrümmerung der Stengel und des Holzes, so daß die Teilchen leichter mechanisch herausgestreift werden können. Die Faser bildet ein vortreffliches Spinnmaterial, für das ein Verfahren mit Kämmprozeß, ähnlich demjenigen der Seidenabfallspinnerei (Schappespinnerei, Florettspinnerei), angewendet wird. Für die Wäschekonfektion bildet die Ramie indessen bis heute kein sehr geeignetes Rohmaterial, weil die Faser nicht angenehm zu tragen ist und die erzeugten Gewebe zu hart und steif ausfallen. Dagegen ist der Glanz der Faser, der die Gewebe seidenähnlich macht, eine erwünschte Beigabe für Effektgewebe; Gasglühstrümpfe werden wegen der größeren Widerstandsfähigkeit heute vornehmlich aus Ramie hergestellt.

DIE WOLLSPINNEREI ist in zwei Gruppen zu teilen:

I. Die Wollstreckwerkspinnerei (Kammgarnspinnerei) für alle mittleren längeren Wollen und zur Erzeugung glatter Gespinste von allen Feinheitsgraden.

II. Die Wollstreichgarnspinnerei, die ohne Streckwerk verfeinert, rauhere Garne aus kürzeren Wollen erzeugt und feinere Garne überhaupt nicht fabrizieren kann.

I. Die Wollkammgarnspinnerei unterscheidet sich von der Baumwollstreckwerkspinnerei — abgesehen von den erheblichen Abweichungen des Verfahrens im einzelnen — zunächst dadurch, daß sie unter allen Umständen einen Kämmprozeß erfordert, während letzterer für Baumwolle nur ausnahmsweise angewendet wird. Das Merkmal des Verfahrens liegt also sowohl in der Notwendigkeit des Kammstuhls wie in der oftmaligen Anwendung des die Parallellage der Fasern und die Glätte des Gespinstes fördernden Streckwerkes, das gegenüber dem Streckwerk für Baumwolle den bemerkenswerten Unterschied der Faserführung im Verzugsfeld mittels Nadelstäben und Nadelwalzen aufweist. Die Arbeitsvorgänge der Kammgarnspinnerei sind:

1. Sortieren im Sortiersaal;
2. Fabrikwäsche mit Trocknerei;
3. Krempeln und Bildung eines Bandes;
4. Vorstrecken auf Nadelstabstrecken (Gillboxes), zwei- bis dreimal;
5. Kämmen;
6. Nachstrecken auf Nadelstabstrecken, gewöhnlich zweimal;
7. Plätten und nochmaliges Strecken.

Das so erhaltene Zwischenfabrikat führt die Bezeichnung „Kammzug" oder schlechthin „Zug". Seine Herstellung wird von manchen Kammgarnspinnereien nicht selbst besorgt, da er von besonderen Fabriken, den Wollkämmereien, gekauft werden kann. Man versteht deshalb unter der Kammgarnspinnerei oftmals nur den Teil des Verfahrens, welcher die Verarbeitung des Zuges durchführt.

In der eigentlichen Spinnerei werden folgende Arbeiten mit dem Zugband vorgenommen (französisches, in Deutschland weitverbreitetes Verfahren):

8. Strecken auf Nadelstabstrecken (zwei- bis dreimal).
9. Vorspinnen auf Frottierspinnmaschinen (Frotteuren, Frottoirs); es findet durch Streckwerke (mit Nadelwalzenzwischenführung) Verfeinerung und durch Würgel- oder Frottierwerke Festigung statt (falscher Draht). Wiederholung der Passagen acht- bis elfmal. Auf jeder Maschine wird zwei- bis dreifach dubliert.
10. Fertig- oder Feinspinnen auf: a) Selfaktoren (mit Streckwerk), b) Flügelspinnmaschinen, c) Ringspinnmaschinen, die durchgehends derjenigen der Baumwollspinnerei sehr ähnlich sind.

1. Das Sortieren der in Ballen verpackten Rohwolle nach ihrer Güte (vgl. Bd. I, S. 387) ist eine wichtige Vorarbeit, die in hellen, großen Räumen von geübtem Personal vorgenommen werden muß. Die Sortierung erfolgt nach den Körperteilen des Tieres auf Tischen, durch deren Rostspalten grobe Unreinigkeiten ausfallen können.

2. Die Fabrikwäsche hat die Wolle von den Massen von Schmutz zu befreien, die dem Haar anhaften (20—40 %, steigend sogar bis 70 % und mehr). Das muß unter Berücksichtigung dessen geschehen, daß die Wolle sich zu verfilzen sucht, d. h. letzteres muß unbedingt vermieden werden. Die Maschinen bestehen aus meist 4 Kufen mit Gabelförderrechen und Gabelhebewerk, an das sich zwischen 2 Waschkufen eine Quetsche für die Auspressung anschließt. Die vorher eingeweichte Wolle geht in mechanischer Förderung von Kufe zu Kufe, wobei die Waschflüssigkeit in entgegengesetzter Richtung von Kufe 4 nach 3, von 3 nach 2 und von 2 nach 1 durch Pumpen unter Zusatz derjenigen chemischen Lösungen, die nebst Seife für die einzelne Passage erforderlich sind, gefördert wird. Bad 1, das den größten Schmutz aufnimmt, erhält konstanten Abfluß. Die Zusätze bestehen in der Hauptsache aus Soda, kohlensaurem Ammoniak und Seife. Gegen Soda ist die Wolle indessen sehr empfindlich, sie muß behutsam angewendet werden. Pottasche wird für Wolle eben-

falls verwendet und gilt als weniger angreifend. Durch Eindampfung der Abwässer kann die Pottasche zurückgewonnen werden, auch das Wollfett (Lanolin) wird durch besondere Verfahren abgeschieden, desgleichen können die vorhandenen Fettsäuren mittels Zusatzes von Wasser und Kalk oder Säuren ausgeschieden werden. Eine Maschine mit Einweichkufe, vier Waschkufen und Trockenvorrichtung mißt etwa 50 m in der Länge und wird ihrer großen Abmessungen wegen als „Leviathan" bezeichnet. Die Trocknung schließt sich in einer Trockenkammer mit bewegten Drahtsieben (Horden) oder in einer leichtgeneigten rotierenden Trockentrommel unmittelbar an. Die auslaufende Wolle erhält, um sie für das Krempeln schlüpfrig zu machen, einen leichten Zusatz von Öl (Olivenöl, Olein usw.).

3. Das Krempeln hat (vgl. S. 186) wieder die Aufgabe, das Material zu lösen. Da Wolle sich viel schwerer als Baumwolle löst, ist sehr behutsam zu verfahren. Deckelkrempeln sind deshalb nicht anwendbar; gewöhnlich sind zwei Walzenkrempeln, eine kleinere Vorkrempel (avant train) und eine größere Hauptkrempel zusammengebaut, wobei die erste noch mit einem selbsttätigen Nadelgitteraufleger (Zupfer, vgl. S. 185) und einigen die Auflösung langsam vorschreitend bewirkenden Vorwalzen ausgerüstet ist. Diese Krempeln erhalten immer sogenannte Klettenschläger, das sind rasch rotierende Walzen mit Schienen, welche die pflanzlichen Kletten abschlagen. Die Kammgarnkrempel bildet Bandspulen, die

4. den Vorstrecken (Gillboxes) vorgelegt werden. Diese für die Verarbeitung der Kammwolle charakteristische Maschine ist ähnlich wie die Durchzüge der Flachsspinnerei gebaut und besitzt nach Abbildung 35 zwei Zylinder a b, zwischen denen das Nadelstabhechelfeld N liegt. Die Nadelstäbe werden auch hier durch Schrauben etwa 5% schneller als der Einzugzylinder und wesentlich langsamer als der abziehende Zylinder bewegt, wobei die Zylindergeschwindigkeiten für einen ungefähr achtfachen Verzug bemessen sind. Der Rücklauf der Stäbe erfolgt mit doppelter Geschwindigkeit, um an Stäben zu sparen. Die Vorderzylinder sind mit steilen Schraubenriffeln versehen und arbeiten mit Laufleder L. Das Rohr r gibt dem Bande durch Drehung eine Verdichtung, so daß der Raum für jede Spule gut ausgenutzt wird. Die neueren Gillstrecken werden als Intersectings gebaut, d. h. zwischen die unteren Nadelreihen fallen von oben die Nadeln einer oberen Gillstabreihe ein, und die Wirkung erfährt eine wesentliche Erhöhung. All diese Gillstrecken arbeiten mit durchschnittlich achtfacher Dublierung. Das vorgestreckte Band enthält die Fasern in verbesserter Parallellage, wodurch der Kämmlingsabgang vermindert wird, wenn das Material auf

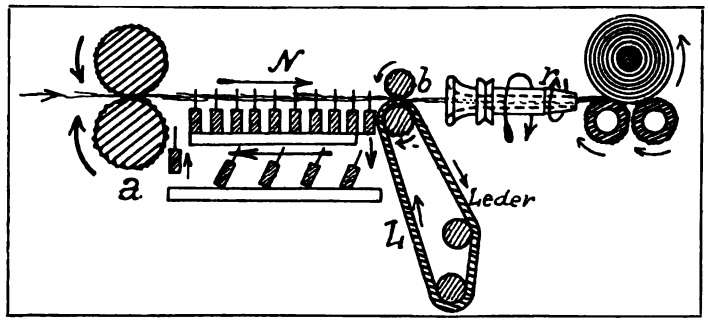


Abbildung 35. Nadelstabstrecke.

5. der Kämmaschine zur Weiterverarbeitung gelangt. Für die normallangen Wollen wird allgemein die einköpfige Heilmannsche Maschine mit absetzendem Kämmprozeß angewendet, die den Stoff durch eine Zange, das ist eine aus zwei Klemmschienen bestehende Klemmvorrichtung, festhält, wenn der rotierende Kamm (Kreiskamm) die Auskämmung vornimmt. Die Hauptteile des Arbeitsapparates sind in Abbildung 36 abgebildet. Der Kreiskamm K kämmt den zwischen Z_o Z_u geklemmten Faserbart vorn aus.

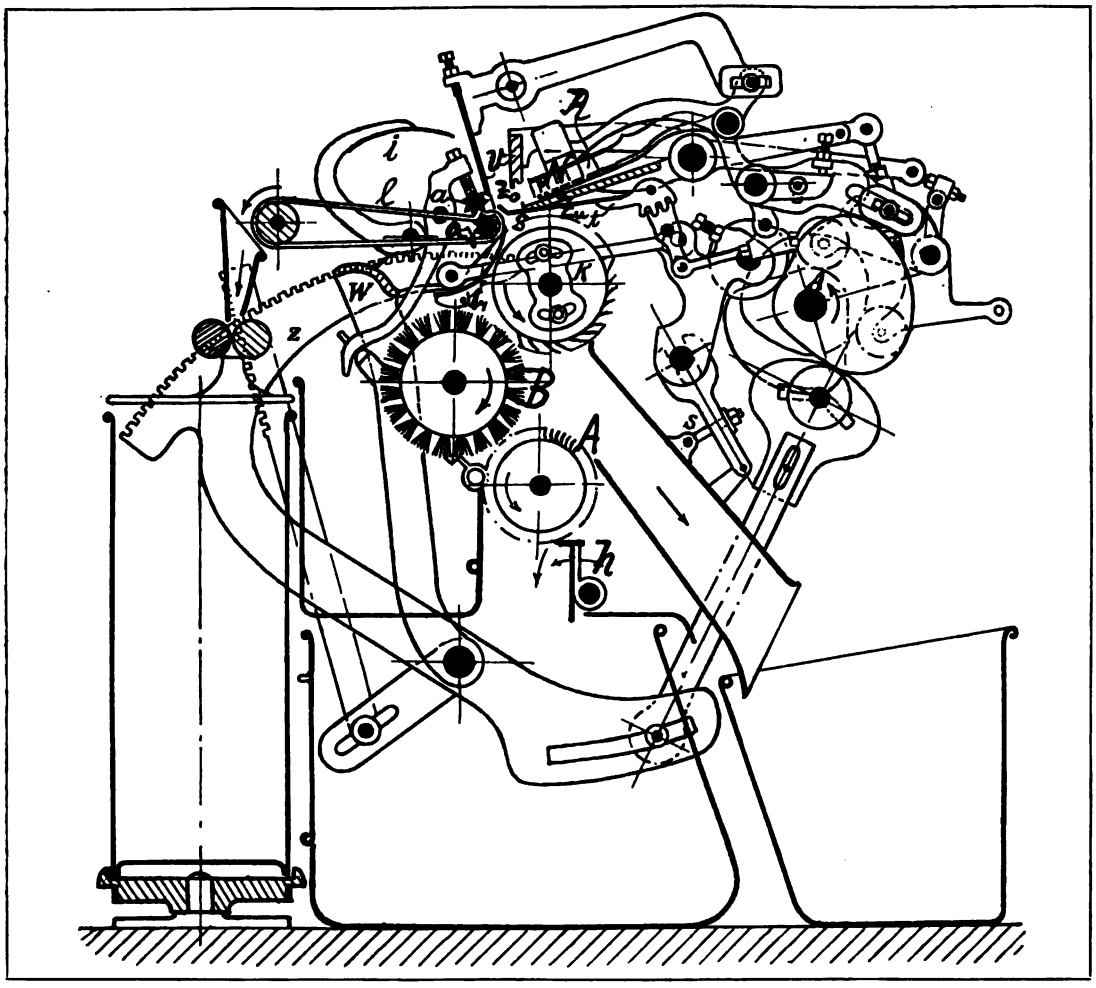


Abbildung 36. Wollkämmaschine der Elsäss. Maschinenbaugesellschaft in Mülhausen.

(Die Abbildung zeigt die Abreißstellung; für das Kämmen ist Z_o Z_u geschlossen und gesenkt.) Ist das geschehen, so schwingt die Zange nach vorn gegen die Abreißzylinder a a_1 und öffnet sich hierbei. Das Zugvlies, welches vorher von a a_1 abgezogen wurde, bewegt sich, bevor die Zange nach vorn geht, um ein Stück unter Rückdrehung von a a_1 zurück, so daß der neu ankommende Faserbart sich exakt auf den alten am Zylinderklemmpunkt auflegt (auflötet) und nun mit diesem zusammen „abgerissen" wird. Damit der Teil des Bartes, welcher vorher in der Zange lag und vom Kreiskamm nicht erreicht werden konnte, nachgekämmt wird, sticht vor dem Abziehen ein Kamm V ein (Fixkamm), durch den die Fasermasse nun hindurchstreichen muß. Unter dem Faserbart befindet sich eine Stütze s, die verhindert, daß der Bart ausweicht, wenn V einsticht; s muß für das Kämmen durch den Rundkamm natürlich zurückgezogen werden. Schiene i (Säbel, Schläger) dient zur Anlegung des Bartes an das Laufleder l und um bei langen Wollen das Abziehen zu unterstützen, während der untere Schläger (Gegenschläger) i_1 den Bart stützt und ihn verhindert, vorzeitig aus dem Fixkamm V zu treten. Die Speisung erfolgt bei einigen Typen gleichzeitig mit

dem Abreißen durch einen Rost R mit Nadelplatte N, bei anderen nach dem Abreißen. (Abbildung 37 gibt im Schaubild die Maschine der Elsässischen Maschinenbaugesellschaft wieder.) Die Speisung der 24 Bänder, die zu einer Watte vereinigt werden, erfolgt ruckweise. Der Kämmling wird mittels Bürste B aus dem Kamm genommen, an A abgegeben und von h als Vlies abgeschlagen.

Für sehr lange Wollen — z. B. die Wolle von den englischen langwolligen Schafen — ist die Zangenmaschine weniger geeignet. Solche Wollen werden derart gekämmt, daß man in zwei mit Nadeln besteckte Ringkränze den Faserbart einschlägt, der dann durch die mitschleppende Wirkung der Nadeln einwärts vorgezogen und vom Abreißzylinder abgenommen wird, während der zurückbleibende Kämmling an anderer Stelle zur Abnahme gelangt (System Noble). Die mittleren Partien des Bartes werden hierbei aber unvollkommen gekämmt.

Die Abfälle der Kämmaschine betragen 8—15 %.

6. Das Nachstrecken und Dublieren geschieht auf Nadelstabstrecken, wie sie unter 4. beschrieben wurden, behufs Vergleichmäßigung des unregelmäßigen Zugbandes.

7. Das Plätten hat die Aufgabe, den Wollfasern die Kräuselung zu nehmen. Die Zugbänder laufen zuerst durch Seifen- und Spülbäder, die das Schmelzöl entfernen (vgl. Karde), und gelangen dann in einen Trockenapparat, der aus geheizten Kupferwalzen, die mit langsam zunehmender Geschwindigkeit rotieren, besteht. Die in der Wärme weiche Hornsubstanz der Wolle streckt sich hierbei und wird geplättet bzw. entkräuselt.

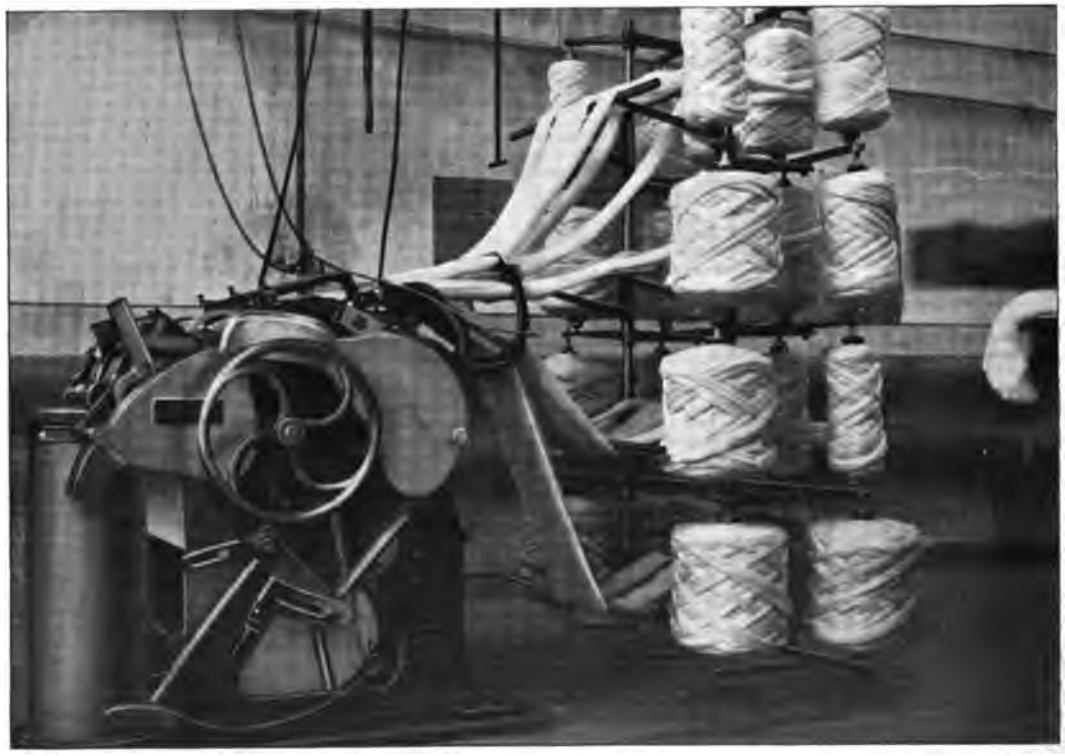


Abbildung 37. Wollkämmaschine der Elsäss. Maschinenbaugesellschaft in Mülhausen.
(Aufgestellt im Technikum für Textilindustrie in Reutlingen.)

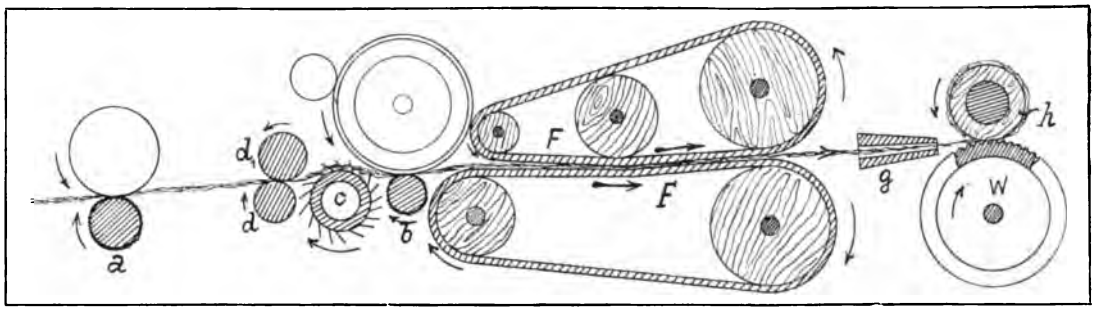


Abbildung 38. Frotteur.

8. Die eigentliche Kammgarnspinnerei mit der sogenannten Vorbereitung oder Präparation besteht in den ersten zwei bis drei Passagen wieder aus Nadelstabstrecken. Dieselben haben in der Hauptsache dieselbe Bauart wie die unter 4 und 6 erwähnten, nur enthält die zweite oder dritte eine selbsttätige Abstellvorrichtung für Bandbruch, um zu verhüten, daß Ungleichmäßigkeiten entstehen; außerdem wird ein Zähler (Compteur) angebracht, der (vgl. Klingellänge der Flachsanlegemaschine, S. 203) abstellt, wenn in die Kanne eine bestimmte Bandlänge eingelaufen ist. Man kann dann die auf der nächsten Maschine zu dublierenden Bänder auf ein bestimmtes Ansatzgewicht ausgleichen.

9. Das Vorspinnen kann auf Spulbänken mit echtem Draht oder auf Frottiermaschinen mit falschem Draht erfolgen. Die langen groben englischen Wollen werden auf Spulbänken ohne selbsttätigen Spulenantrieb gesponnen, d. h. der Flügel schleppt die Spule oder umgekehrt. Diesem englischen steht das deutsche Verfahren gegenüber mit Spulbänken (Flyern), die wie die Baumwollflyer gesetzmäßig geregelten Spulenantrieb erhalten. Das französische Verfahren kennt den Flyer nicht und wird namentlich für feine, kürzere und mittellange Wollen benutzt; die Maschine gibt falschen Draht mit Frottier- oder Würgelwerken. Für längere schlichte Strickwollen wird häufig zuerst auf Frotteuren vorgearbeitet und schließlich auf ein bis zwei Flyern fertig vorgesponnen, weil diese längeren schlichten Wollen durch den Nitscheldraht in den feineren Vorgespinstnummern nicht hinreichend gefestigt werden können.

Der Frotteur besteht nach Abbildung 38 aus den beiden Streckwalzenpaaren a b, zwischen welchen als Führungsorgan die Nadelwalze c liegt. Die Fasermasse wird durch Hilfszylinder d und d_1 in c eingedrückt. Der Faden läuft nach Durchgang durch das Verzugsfeld in das Frottierwerk F, dessen Leder ihn nach außen führen und gleichzeitig durch ihre Achsialbewegung unter Druck verdichten, würgeln und zu einem Faden abrunden. Abführtrichter g steht fest, während die Spulbank vor g hin und her geht und das Gespinst in Kreuzwicklung auf h aufwindet.

Sämtliche Frotteure geben Dublierung, ihr Verzug ist durchschnittlich ein 4,5facher. Man unterscheidet Grob-, Halbgrob-, Zwischen- und Feinfrotteure, der letzte Feinfrotteur wird als Finisseur bezeichnet. Die Grobfrotteure dublieren 1—2fach, die Halbgrobfrotteure 2—3fach, alle Zwischenfrotteure 3fach, die Feinfrotteure 2—3fach.

10. Das Fertig- oder Feinspinnen erfolgt für Webgarne auf Selfaktoren und Ringmaschinen, für Strickgarne vornehmlich auf Flügel- und Ringmaschinen. Diese Maschinen sind im Prinzip den für Baumwolle verwendeten gleich, nur haben die Streckwerke große Abstände zwischen dem ersten und letzten Zylinder, so daß mehrere führende Zwischenzylinder erforderlich sind. Neuerdings erhalten diese Streckwerke gewöhnlich fünf Zylinder.

Das Spinnen bunter Garne ist in der Kammgarnspinnerei sehr verbreitet, namentlich für Strickgarne. Vielfach werden dann die Kammzugbänder bunt gefärbt. Behufs Erzielung von Farbmischungseffekten (Melangen) läßt man die verschieden gefärbten Bänder auf den Gillstrecken zusammenlaufen.

Die Wollfaser erfordert für ihre Verspinnung zwischen Streckwerken, die die Hornsubstanz durch Reibung mit Elektrizität laden, hohe Feuchtigkeit und Wärme. Man führt erstere künstlich bis zu 90 % zu und hält letztere auf etwa 22—24° C.

II. Die Wollstreichgarnspinnerei bereitet das Vorgespinst (vgl. S. 201) nur durch Kratzen oder „Streichen" vor. Nachdem das Material gewaschen wurde, wobei schwache alkalische Lösungen, Seife und Ammoniaksoda verwendet werden, gelangt es, vorher geschleudert und getrocknet, in den eigentlichen Spinnprozeß. Um es schlüpfrig zu machen und die Faser vor Beschädigungen im Krempelprozeß zu schützen, wird es zunächst mit Olein oder einem leicht verseifbaren Öl eingefettet (geschmelzt). Es geschieht dies entweder vor dem Auflockern oder Wolfen oder gleichzeitig mit demselben auf einem Ölwolf. Die Arbeitsvorgänge sind dann:

1. das Auflockern auf Reiß- und Krempelwölfen, verbunden mit dem Reinigen von groben Unreinigkeiten;
2. das Krempeln, gewöhnlich auf drei Walzenkrempeln nacheinander (Dreikrempelsystem);
3. das Feinspinnen auf Selfaktoren.

1. Für das Auflockern verwendet man Reißwölfe, d. h. Trommeln, die mit Stahlstiften besetzt sind und welche die von zwei Einzugzylindern zugeführte Wolle erfassen und auseinanderziehen. Erhalten die Trommeln gekrümmte Stifte, die ähnlich wie bei Walzenkrempeln mit Arbeitern und Wendern zusammenarbeiten, so entsteht der wirksamere Krempelwolf. Mit diesen Wölfen wird heute vielfach die automatische Zuführung des Schmelzöls, das immer in Emulsion zugebracht wird, verbunden. Um die Streureste und vom Tier aufgesammelten vegetabilischen Kletten zu entfernen, hat man mechanische Klettenwölfe angewendet, die aber nicht vollständig befriedigen. Auch die Karbonisation der Kletten, das ist die Verkohlung durch schwache Säurelösungen, wird angewendet.

2. Das Krempeln. Die Streichgarnkrempeln sind ausnahmslos Walzenkrempeln, die nach Abbildung 39 mit selbsttätigem Aufleger (vgl. Kastenspeiser, S. 185) verbunden sind, der durch automatische Regler auf eine bestimmte Länge des Zuführgitters ein bestimmtes Auflagegewicht zuführt. Die Einführung erfolgt durch mehrere Sägezahnwalzen, die das Material schonend und langsam zerziehen. Am Umfang des großen Tambours sind 7—8 Walzenpaare (Arbeiter und Wender) angeordnet. Die Abgabe bzw. Verdichtung erfolgt durch Abnehmer (den Peigneur). Über letzterem liegt der sogenannte Volant, das ist eine Art Bürstwalze, die durch den Trommelbelag streicht und die tiefer eingedrungenen Faserpartien heraushebt, damit sie noch vom Peigneur abgenommen werden können (vgl. Walzenkrempel S. 188).

Die Überführung des an der ersten Krempel (Reißkrempel) gebildeten Breitbandes an die zweite Krempel erfolgt in Abbildung 39 durch einen Selbstübertrager, der das Band schräg (Kreuzvorlage) der zweiten Krempel vorlegt, was für die Durchmischung des Stoffes, namentlich wenn er aus verschiedenen Farben zusammengemischt ist (Melangen), sehr vorteilhaft ist. Außerdem findet eine Ausgleichung der Ungleichheiten statt, die sich in der Breitenrichtung auf der ersten Krempel gebildet haben. Die Reißkrempel kann aber auch das Vlies auf einer Trommel übereinanderwickeln (Pelztrommel); der so gebildete Pelz wird dann der nächsten Krempel quer vor-

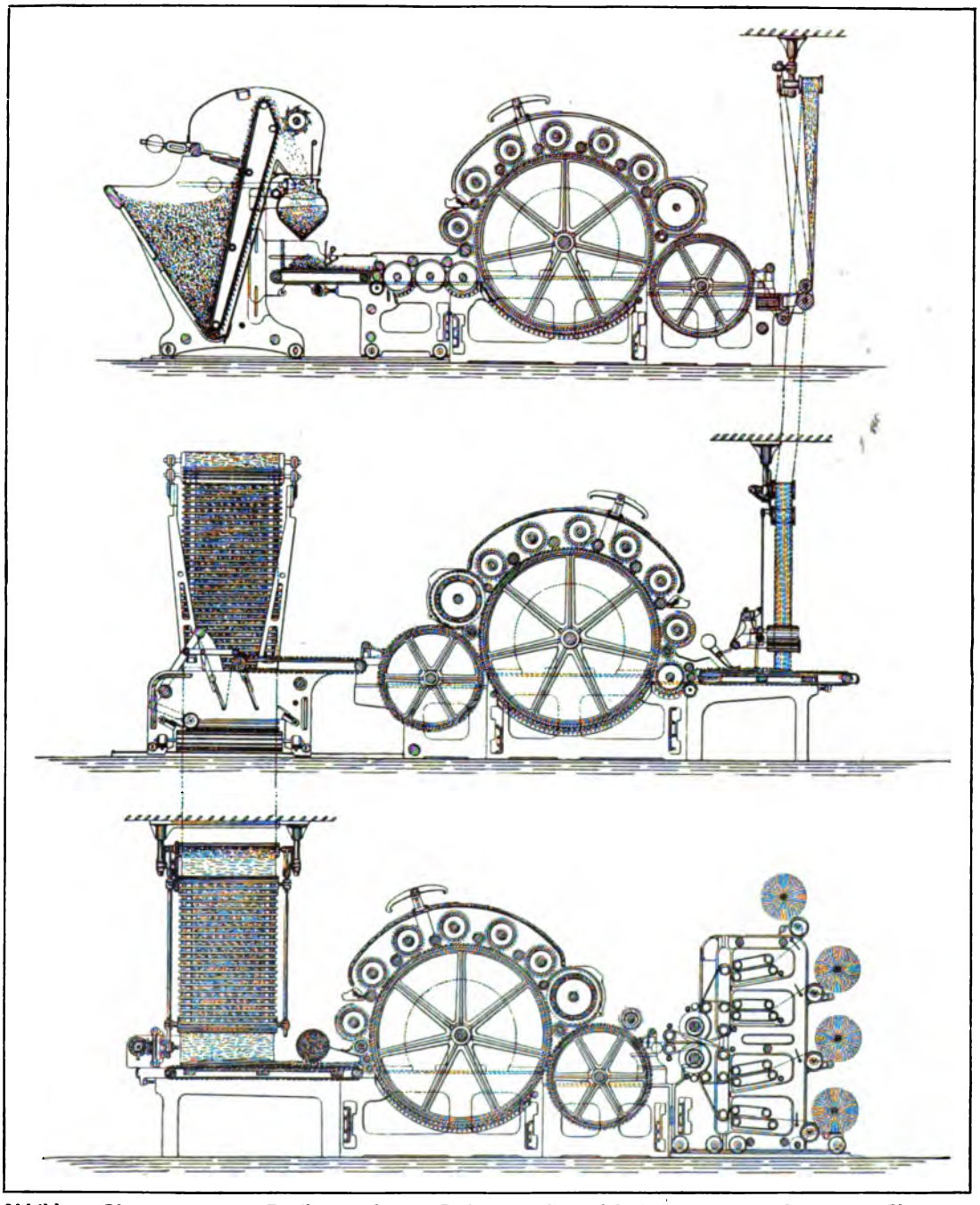


Abbildung 39. Dreikrempelsatz. Sächs. Maschinenfabrik vorm. Rich. Hartmann, Chemnitz.

gelegt (Umfang der Trommel gleich Einlaufbreite). Auch sogenannte Langpelzapparate werden angewendet.

Die zweite Krempel ist wie die erste ausgestattet, nur die Beschläge werden etwas feiner gewählt. Von ihr gelangt das Vlies wieder durch einen Selbstübertrager zur

dritten Krempel (Spinnkrempel), jedoch diesmal nicht mit Quervorlage, sondern die Fasern bleiben in Längslage, damit das Vorgespinst nicht zu rauh ausfällt. Das Vlies wird durch Lattengitterumführungen und eine Legvorrichtung zu einer lockeren Watte gedoppelt und auf das Gitter der dritten Krempel aufgelegt. Letztere hat wieder dieselbe Bauart wie die vorhergenannten Maschinen, doch kann auch hier der Beschlag feiner sein.

Die Spinnkrempel ist mit dem Spinnapparat oder Florteiler zusammengebaut, der das bemerkenswerteste Arbeitsglied der Streichgarnspinnerei ist. Er teilt den Flor der Spinnkrempel in z. B. 60, 80, 100 oder 120 schmale Florstreifen, die dann durch Nitschel- oder Würgelwerke (Frottierwerke) zusammengerollt, verdichtet und zu lockeren Vorgespinstfäden abgerundet werden. Der Draht ist also „falsch" oder „unecht" (vgl. S. 193).

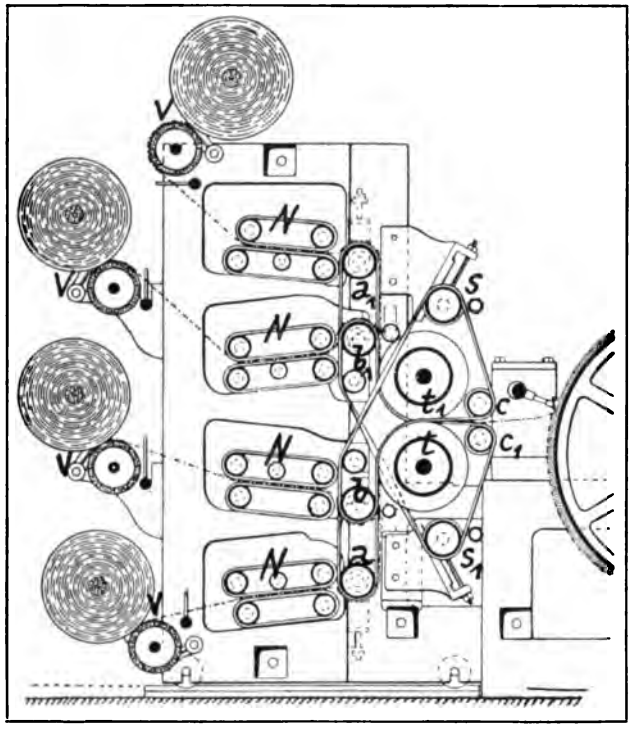


Abbildung 40. Florteiler der Maschinenfabrik Oskar Schimmel, A.-G., in Chemnitz.

In Abbildung 40 ist der am weitesten verbreitete Riemchenflorteiler abgebildet (Bauart Oskar Schimmel). Das Abnehmervlies läuft in ein System von schmalen Riemchen ein, von welchem die eine Partie nach unten um eine sogenannte Teilscheibe t geführt ist und über die Walzen a b und die Spannwalze s nach der Einführungswalze c zurückkehrt, während die andere in entgegengesetzter Richtung läuft. Die Einführungswalzen c c_1 erzeugen mit den Teilwalzen t t_1 eine Überkreuzung der beiden nach unten und oben geführten Riemchenpartien, so daß das umlaufende Vlies zertrennt (geteilt) wird. Der schmale Florstreifen bleibt nun auf dem zugehörigen Riemchen zunächst liegen, wird von diesem um die Teilscheibe herumgeführt und schließlich von a b und a_1 b_1 nach außen in die Nitschelzeuge N geleitet. Letztere bestehen in Abbildung 40 aus Lederschläuchen (Hosen), die die Fäden unter leichtem Druck mittels achsialer rascher Hin- und Herbewegung würgeln oder nitscheln, in dieser Weise einen mit „falschem" Draht versehenen Faden bildend. Da die Leder gleichzeitig vorwärtslaufen, liefern sie die Vorgespinstfäden ab, die von den Spulen V (Vorgarnspulen) aufgewickelt werden. Statt der Hosennitschelung kann auch Walzennitschelung mit hin und her bewegten belederten Walzen angewendet werden.

Die Florteiler können 60—120 Faden erzeugen; die Fadenzahl bedingt bei gleicher Arbeitsbreite der Krempel naturgemäß die Feinheit des Vorgespinstes, die außerdem von der Stärke des Vlieses abhängt. Der Riemchenflorteiler wurde von Ernst Geßner in Aue in Sachsen erfunden und ist für alle Wollen anwendbar, er wurde namentlich von C. Martin in Verviers praktisch vervollkommnet. Die Florteilung kann auch mittels

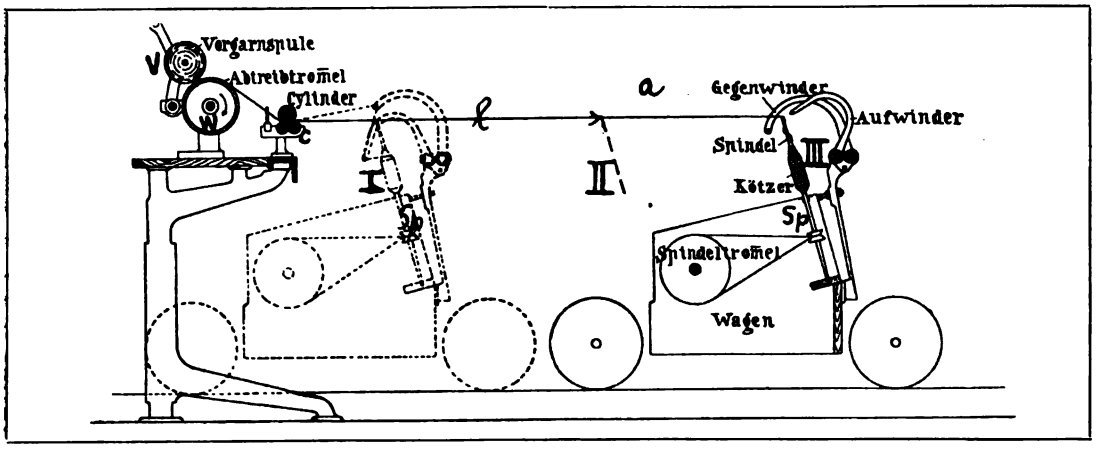


Abbildung 41. Streichgarnselfaktor.

schwingender Stahlbänder (Stahlbandflorteiler) bewirkt werden, doch eignet derselbe sich vornehmlich nur für kurze Wollen, Kunstwollen usw.

3. Das Feinspinnen der Streichgarne kann bis jetzt nur auf Selfaktoren erfolgen, weil diese allein imstande sind, dem Vorgespinst, das von der Krempel her Ungleichmäßigkeiten in sich birgt, im Herausspinnen eine befriedigende Vergleichmäßigung zu geben. Die Maschine arbeitet ohne Streckwerk und verzieht wie Hargreaves' Jennymaschine durch den Wagen. Die liegenden Vorgarnspulen V werden nach Abbildung 41 durch Walzen w abgewickelt, die Vorgarnfäden von Zylinder c geliefert. Man wendet gewöhnlich zwei mit gleicher Geschwindigkeit laufende Zylinder an, um den Faden besser zu halten, ein Verzug wird von diesen Zylindern nie gegeben. Während nun der Wagen von I bis II herausbewegt wird, liefert der Zylinder die Länge l, und die Spindeln Sp drehen sich mit kleinerer Umlaufzahl, so daß das Gespinst eine leichte Festigung erfährt, aber noch verzugsfähig bleibt. Im Punkte II bleibt der Zylinder stehen, der Wagen fährt aber weiter unter Abnahme seiner Geschwindigkeit, bis der volle Auszugweg a durchlaufen ist. Die Fäden werden hierdurch im Verhältnis $\frac{a}{l}$ verfeinert (Wagenverzug). Von II ab setzt eine höhere Spindelumlaufzahl ein, und man spricht für die Periode I II (Lieferperiode) von der ersten, für II III von der zweiten Spindelgeschwindigkeit. Ist III erreicht, so bleibt der Wagen stehen, und die Spindeln drehen das Gespinst mit abermals erhöhter sogenannter dritter Spindelgeschwindigkeit fertig (Nachdraht). Damit ist der Spinnprozeß vollendet; er wird unterbrochen, und es beginnt die Aufwindung, die ebenso wie beim Baumwollselfaktor (vgl. S. 199) verläuft und aus den Perioden des Rückwindens oder Abschlagens und dem Einfahren (Aufwinden) besteht.

Die Vergleichmäßigung des Gespinstes fällt in die Verzugsperiode II III und wird durch die Vordrehung in Periode I II vorbereitet. Die Drehung legt sich naturgemäß immer stärker in jene Stellen des Gespinstes, die dem Zusammendrehen weniger Widerstand entgegensetzen. Das sind nach Abbildung 42 die dünneren Stellen. Wenn nun

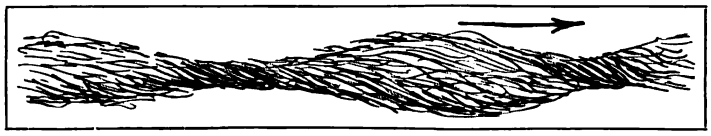


Abbildung 42. Streichgarnvergleichmäßigung.

der Zylinder abstellt (im Punkte II), setzen die dünneren Stellen dem einsetzenden Verzug größeren Widerstand entgegen als die dickeren, und letztere werden zunächst auf die Dicke der schwächeren Fadenpartien verzogen. Da hierdurch der Faden fortschreitend dünner wird, muß er mehr gefestigt und mit gesteigerten Spindelgeschwindigkeiten gedreht werden (zweite Geschwindigkeit). Anderseits verringert die zunehmende Drehung die Verzugsfähigkeit, was zur notwendigen Folge hat, daß man den Wagen mit abnehmender Geschwindigkeit laufen lassen muß, um Fadenbrüche zu vermeiden. Die Vergleichmäßigung des Gespinstes beruht also auf der Wechselwirkung zwischen Draht und Fadendicke. Da der Ringmaschine diese Einflüsse fehlen, ist sie für die Streichgarnspinnerei nicht sehr gut geeignet, obzwar beachtenswerte Vorschläge vorliegen, sie für diese Spinnmethode brauchbar zu machen. Dagegen werden Streichgarngespinste auf Flügel- und Ringzwirnmaschinen gezwirnt. Für sehr grobe Garne läßt man neuerdings die richtige Fadenfeinheit schon vom Florteiler der Spinnkrempel herstellen, bringt dann die Wickel in eine rotierende Kapsel, durch deren Drehung der auslaufende Faden seinen Draht empfängt, und wickelt das Gespinst in sogenannter Schlauchcopform auf (Trichtermaschinen). Der Selfaktor fällt dann ganz weg. (Das Verfahren wird hauptsächlich für Baumwollabfallgarn angewendet.)

Unter Vigogne versteht man eine Mischung von Schafwolle mit Baumwolle (von 2—98% Baumwolle). Sie wird immer auf Streichgarnmaschinen gesponnen. Durch Zerreißen von Wollabfällen gewonnene Kunstwolle, ebenso die ähnlich erhaltene Kunstbaumwolle werden mittels Streichgarnspinnmaschinen verarbeitet, die ebenso für die Asbestverarbeitung Verwendung finden. Überhaupt können mit Streichgarneinrichtungen fast alle Wollen und Baumwollen verarbeitet werden, sofern sie eine gewisse Länge nicht überschreiten. Auch die aus Abfällen von Flachs, Hanf, Ramie, Baumwolle zusammengesetzten Fasermischungen (Kosmosfasern) werden wie Streichgarn gesponnen. Ist aber dieses Verfahren demnach auch eines der universalsten, so eignet es sich doch nur für grobe Nummern bis etwa 20 und 24 (d. h. 20000 bis 24000 m auf 1 kg).

DIE VERARBEITUNG DER SEIDE zu Gespinsten ist in allen Fällen eine Abfallspinnerei, weil das Raupengespinst als Gregeseide nur in beschränktem Umfange von den Kokons abgehaspelt werden kann. Dieser Teil ist schon auf S. 390 Bd. I besprochen worden. Man unterscheidet

1. die Schappe- oder Florettspinnerei;
2. die Bourrettespinnerei (Verarbeitung der Abfälle der Schappespinnerei).

1. Die Schappespinnerei verwendet als Rohmaterial die äußere Flockseide, in welche die Raupe den Kokon einhängt, die schlechten, nicht haspelbaren und die durchbissenen Kokons, die Sterblingskokons, die beim Haspeln zurückbleibende innere pergamentartige Hülle (Strusa) und die Abfälle, die bei dem Haspeln und Zwirnen der Grege- und Tramseide entstehen. Die wichtigsten Arbeiten sind:

a) Das Faulen erfolgt behufs Zerstörung des Seidenleims durch Einbettung der Kokons in Behälter, Übergießen mit Wasser und Erhitzen des Wassers im geschlossenen Behälter durch Dampfrohre auf 60—70°. Durch den Fäulnisprozeß wird der Seidenleim gelöst, die Fasern werden freigelegt. Dann folgt Waschen, Spülen und Trocknen.

b) Das Schlagen durch Riemen. Die Kokons liegen auf einem Drehtisch und werden mit Lederpeitschen geschlagen, wobei sich die Kokons lösen. Darauf wird das Material

c) dem Einsprengen ausgesetzt, d. h. 24 Stunden mit Seifenwasser benetzt liegen gelassen.

d) Die Deckenbereitung durch Auflösen in einer Art Karde und

e) die Faserbartbereitung auf der Fillingmaschine. Diese liefert das kardierte Material an eine eigenartig gestaltete Trommel, die in Abständen mit Kardenkämmen besetzt ist, so daß sich Faserbärte bilden, die man dann abnimmt und an einen Stab anhängt (anwickelt). So gelangen diese Bärte

f) zur Kämmerei. Man benutzt eine Langkämmaschine und einen Rundkämmer. Erstere liefert sehr gute Ware, ist aber unproduktiv; die zweite leistet viel mehr. Um von den Faserbärten der Kämmaschinen zusammenhängende Decken zu bilden, gelangt das Material auf

g) die Anlegemaschine, d. i. eine Strecke mit drei Nadelwalzen zwischen den beiden Zylindern und einer Trommel, auf welcher durch Übereinanderwickeln des Vlieses ein Pelz (Decke) entsteht. Hierauf folgt

h) die Wattenmaschine, welche in einem dem vorigen gleichen Streckwerk verzieht, den Flor jedoch an einen Trichter zu einem Bande zusammenzieht und in eine Kanne abliefert.

i) Die Strecke hat wieder zwei Streckzylinder mit drei im Verzugsfeld liegenden Nadelwalzen und bildet den Faden durch ein Frottierwerk (Nitscheln). Es wird zwei- bis dreimal oder vier- bis fünfmal für langes bzw. kürzeres Material gestreckt. Die Dublierung schwankt zwischen acht- und zehnfach, der Verzug ist zehn- bis zwölffach.

k) Das Vorspinnen erfolgt auf Flyern mit Streckwerken, die Hechelfelder haben und zehn- bis sechzehnfach verziehen.

l) Für das Feinspinnen der Schappe verwendet man alle Gattungen von Maschinen: Flügel- und Ringspinnmaschine und Selfaktor.

2. Die Bourrettespinnerei verwertet die Abfälle der Schappespinnerei, in erster Linie die Kämmlinge. Die Fasern sind nur kurz, 5—8 mm. Man kann verschiedene Verfahren verwenden; vornehmlich gelangt das Streichgarnspinnen mit Florteiler und Selfaktor (Jennymaschine) zur Anwendung, auch die Ringmaschine wird benutzt. Ebenso können die Abfälle gekämmt und Streckprozessen mit schließlicher Vorspinnung auf Flyern unterworfen werden. Bourrette wird vielfach mit Wolle zusammen verarbeitet, auch wilde Seide und durch Zerreißen von Seidengeweben (Seidenshoddy) gewonnene Abfälle werden verwendet und eingemischt.

DIE WEBEREI. Das Weben von Hand, eine der ältesten Künste, die der Mensch betreibt, wird heute nur noch für die Erzeugung gewisser Waren, so der Teppiche, benutzt. Die in großen Mengen gebrauchten Waren aus Baumwolle, Wolle, Leinen, Jute usw. werden auf mechanischem Wege hergestellt. Die Genesis des Webstuhls ist eine interessante, denn sie hängt gewissermaßen mit dem Lande zusammen, in dem dieses Werkzeug jeweils entstand, und in südlichen Ländern mit wenig Niederschlägen kann man noch heute Webeeinrichtungen beobachten, die im Freien untergebracht sind und sich infolge des großen Raumes, der dabei zur Verfügung steht, ziemlich ausbreiten. Die Teppichweberei des Orients arbeitet mit vertikaler Kette, weil diese Lage dem vor dem Webstuhl sitzenden Arbeiter das Muster (Dessin) stets übersichtlich vor Augen hält; doch ist für andere Gewebe im Orient die horizontale Führung der Kette ebenfalls gebräuchlich. Die Völker, welche in rauherem Klima wohnen, mußten ihre Webeeinrichtungen den engen Wohnräumen anpassen, die ihnen zur Verfügung standen. Da lag es nahe, die in die Länge gespannte Kette möglichst eng auf einen

Baum aufzuwickeln und von diesem durch eine Leitwalze oder -schiene in die Horizontale zu leiten. Diese Einrichtung ist eigentlich eine Kombination, die man sich entstanden denken kann aus einer horizontal oder vertikal gelegten Kette, deren Länge in einem niederen und schmalen Raume schwer zu entwickeln war; so war man gezwungen, das Fadensystem auf einen Baum zu wickeln und hierdurch auf ein kleines Volumen zu beschränken.

Wie alle diese Dinge sich entwickelt haben, läßt sich nur vermuten, historische Belege gibt es nicht dafür, höchstens Hinweise bei alten Schriftstellern mit verschiedenen Deutungsmöglichkeiten. Der einfache Handstuhl besaß nach Abbildung 43 folgende Haupteinrichtung: die Kette war auf A, dem Kett- oder Zettelbaum, aufgewickelt und wurde über den Streichbaum a gegen den sogenannten Brustbaum b geführt und als Ware auf den Warenbaum W aufgewickelt. A wurde durch Reibungszug R gebremst, die Kette also, da W gesperrt ist, unter Spannung gesetzt. Bei i waren Kreuzruten zur Teilung der Fäden angebracht; J ist das Geschirr zur Fachbildung, denn da der Schußfaden senkrecht zur Kette einzulegen ist (Eintragen, Einschießen des Schusses), müssen die Kettfäden behufs Erzielung eines Wechsels in der Verschlingung (Bindung) zu einem Teil nach abwärts, zum anderen nach aufwärts gezogen werden (Unter- und Oberfach). Die Bewegung dieses Geschirres oder der „Schäfte" erfolgte mittels der Tritte tt_1. War das Fach gebildet, so wurde der Schußfaden y durch Einschieben einer einfachen Spule eingetragen. Später verwendete man einen Handschützen, in dem die Spule gelagert war. 1738 erfand John Kay den Schnellschützen, der auf mechanischem Wege durch die Schnellkraft eines Schützenwerfers über die Bahn geschleudert wurde. Das Anschlagen des Schußfadens geschah in alter Zeit mittels eines Handkammes, wie es noch heute im ganzen Orient in der Teppichweberei erfolgt. Die Einführung des über die ganze Gewebebreite verteilten Kammes, des Blattes B, war insofern ein großer Fortschritt, als der Kamm nur ein langsam fortschreitendes, oftmals wiederholtes Anschlagen gestattete, das Blatt aber den Anschlag auf einmal durchführt. Mit der Einführung des Blattes war die Notwendigkeit gegeben, die Lade, welche sowohl den Schützen und die Schützenbahn wie das Blatt selbst trägt, anzubringen. Am Handstuhl wurde allgemein eine Hängelade L wie in Abbildung 43 benutzt, die pendelnd aufgehängt war. Der Arbeitsvorgang spielte sich in folgender Weise ab: Treten, Rückschwingen der Lade, Einwerfen des Schusses, Anschlagen, Treten usw. Zeitweise wurde durch Schaltwerk der

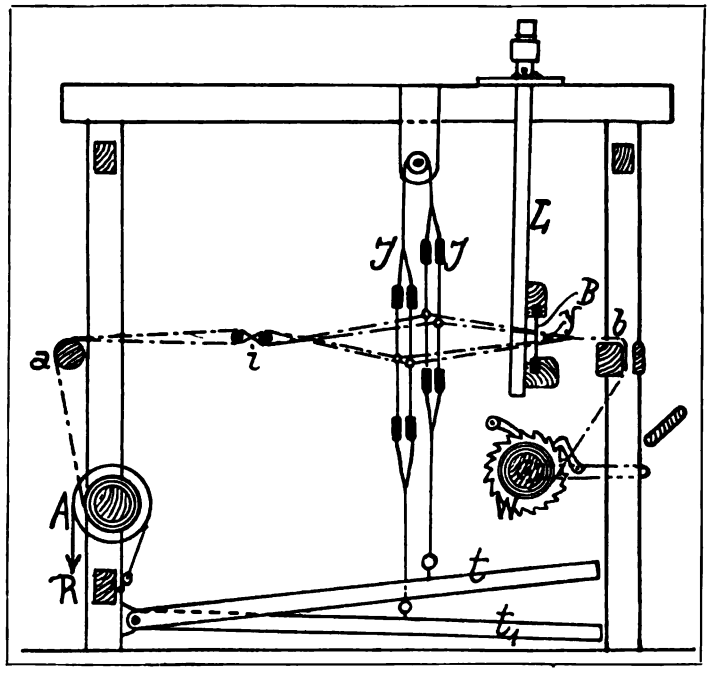


Abbildung 43. Handwebstuhl.

Abbildung 44. Alte Handweberstube. (Original im Deutschen Museum in München.)

Warenbaum W gedreht. Abbildung 44 gibt ein getreues Bild einer alten Handweberstube wieder, die im Deutschen Museum in München ihre Aufstellung gefunden hat.

Schon der Handweber hatte sein Material verschiedenen Vorbereitungsarbeiten zu unterwerfen, um es für den eigentlichen Webeprozeß tauglich zu machen. Man unterscheidet die Vorbereitung a) des Schusses, b) der Kette, da eben jedes Gewebe aus zwei Fadensystemen, dem Schuß und der Kette, hergestellt ist. Die Vorbereitung des Schusses beschränkt sich auf das Umspulen. In der mechanischen Weberei roher Ware fällt indessen auch dies fort, da die Spinnereien den Schuß immer in richtiger Aufmachung für den Webeprozeß liefern. Nur für die Buntweberei (bunter Schuß abwechselnd) pflegt das Schußspulen notwendig zu werden. Mit der Kette sind folgende Arbeiten vorzunehmen:

1. Das Spulen, um die Fäden auf größeren Spulen unterzubringen.

2. Das Zetteln oder Scheren. Hierbei laufen die Fäden zusammen auf einen Baum oder eine Baumscheibe, sie gelangen also in eine ähnliche Lage, wie sie dieselbe später auf dem Kettenbaum, der dem Stuhl vorgelegt wird, einzunehmen haben. Man zettelt oder schert entweder in voller Breite, aber nur in einem Teilbetrag der Dichte, oder es wird in voller Dichte und nur in einem Teil (in einer Sektion) der Breite geschert (Sektionalscheren). Die erste Methode ist für Rohgewebe gebräuchlich, die zweite für bunte Gewebe, namentlich aber für Woll- und Seidenketten.

3. Das Schlichten, Leimen und Trocknen hat die Aufgabe, dem Material größere Festigkeit zu geben, indem man eine klebende Substanz (Stärkelösung, Leim usw.) aufträgt. Die Fäden sind dann der späteren Beanspruchung im Webstuhl besser

gewachsen. Da die Schlichtung und Leimung stets naß erfolgt (warm oder auch kalt), hat ihr unmittelbar eine Trocknung zu folgen. Deshalb ist mit der Schlichtmaschine immer ein Trockenapparat verbunden, der entweder durch bewegte warme Luft (Lufttrockenschlichtmaschine) oder durch heiße Metallflächen (Zylinderschlichtmaschine) trocknet. Die Lufttrocknung zieht das Material weniger in Mitleidenschaft und wird für bunte Baumwollketten und Wollketten vorgezogen.

4. Das Aufbäumen, wobei die Kettfäden auf dem Baum vereinigt werden, der dann als „Zettelbaum" dem Webstuhl vorgelegt wird. Gewöhnlich ist die Bäummaschine unmittelbar mit der Schlichtmaschine verbunden.

Der mechanische Webstuhl wird in sehr verschiedenen Konstruktionen ausgeführt, je nachdem er für Baumwolle, Leinen, Wolle usw. bestimmt ist. Die Hauptarbeitsorgane sind indessen stets dieselben, so daß hier die kurze Besprechung eines einfachen Baumwollstuhls Platz finden möge. Abbildung 45 zeigt den Schnitt durch einen Stuhl für sogenannte zweischäftige Ware. Die Kette läuft von dem unter Reibungssperrung (passives Sperrgetriebe) liegenden Kettbaum Kb über den Streichbaum (-Riegel) Sb in die Horizontale. Bei u liegen Stäbe, die rückwärts angebunden sind und die Kettfäden teilen, so daß ihr Zusammenhaften vor der Fachbildung aufgehoben ist (Kreuzruten). S sind die Schäfte (das Webegeschirr), d. h. Holzstäbe mit gefirnißten Zwirnlitzen, in die in der Mitte Ösen eingeschlungen sind (meist Metall, Maillons), für jeden Faden eine. Im vorliegenden Falle sind vier Schäfte angewendet, obzwar es sich um eine zweischäftige Ware handelt, weil bei dichter Einstellung die Verteilung auf vier Schäfte leichter durchführbar ist. Die Schäfte S sind durch einen Riemen, der oben über eine Rolle geht, verbunden; nach unten schließen Zugstangen an, die mit den Tritten t verbunden sind. Diese Tritte bilden einarmige Hebel und werden durch die Trittexzenter E_1 E_2 betätigt. Für zweibindige (zweischäftige) Ware genügen zwei Exzenter; die Exzenterzahl steigt jedoch mit der Komplizierung der Bindung (siehe unten). Wie Abbildung 45 zeigt, wechselt bei Anwendung zweier Exzenter und zweier Schäfte die Schaftstellung nach einer halben Umdrehung der Exzenterwelle, und da jeder Schaftstellung ein Schuß bzw. eine Ladenschwingung und eine Umdrehung der Stuhlwelle entspricht, muß von der Stuhlwelle zur Trittexzenterwelle die Übersetzung 1:2 eingeschaltet werden. Allgemein läßt sich daraus ableiten, daß die Bindigkeit die Übersetzung an Exzenterstühlen bedingt, d. h. für zwei-, drei-, vierbindige Ware muß die Exzenterwelle mit 1:2-, 1:3-, 1:4facher Übersetzung von der Hauptwelle angetrieben werden oder auf einen Umlauf derselben $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ Umlauf machen. L ist der Ladenarm, der unten seinen Drehpunkt hat, l der Ladenklotz mit der Schützenbahn a, l_1 der Ladendeckel; zwischen l und l_1 liegt, von beiden gehalten, das Blatt oder Riet R, aus feinen Metallamellen (gewöhnlich Stahl) gebildet, durch deren Lücken (Rohre) die Kettfäden hindurchgehen. Bei a bildet sich das Fach, durch das der Schützen hindurchgetrieben wird; der eingetragene Schußfaden wird durch das Vorschwingen der Lade bei A an die Ware herangeschlagen.

Den Schützen wirft eine besondere Einrichtung (der Schlagexzenter) über die Bahn. Sie besteht aus einem Schlagstock, der vom Exzenter vorgeschleudert wird, so daß der Schlagriemen (Peitsche) einen Hartlederkörper (Treiber, Picker) vortreibt, der dann durch seinen Anprall am seitlichen Schützenkasten den Schützen über die Bahn wirft. Je nachdem die Schlagvorrichtung von oben oder unten wirkt, unterscheidet man Oberschläger (für leichtere Ware) und Unterschläger (für schwerere Ware). Breite Stühle pflegen immer Unterschläger zu sein.

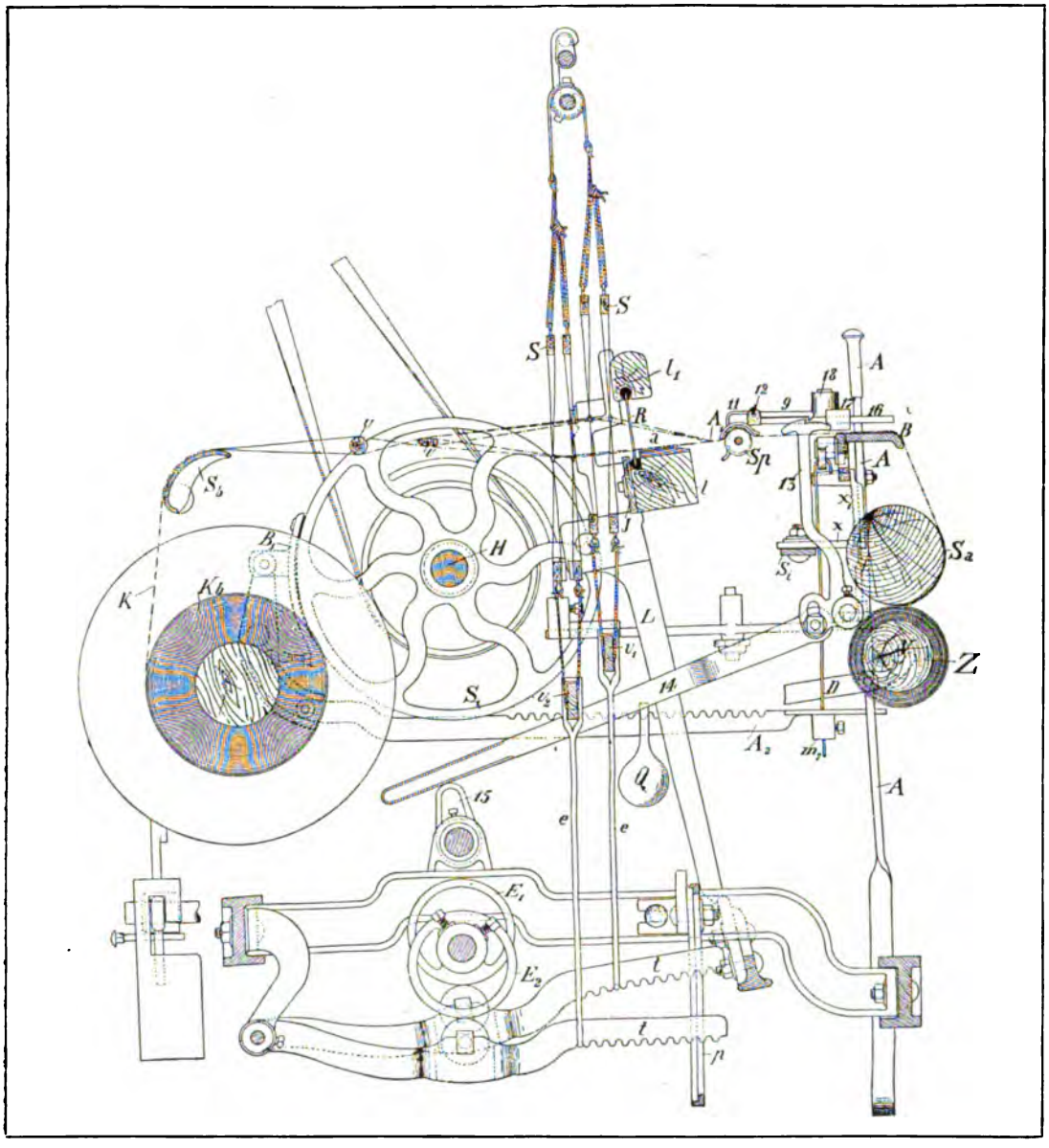


Abbildung 45. Schnitt durch einen mechanischen Baumwollwebstuhl.

(Aus: „Baumwollspinnerei, Rohweberei und Fabrikanlagen" von Otto Johannsen; Leipzig, B. F. Voigt.)

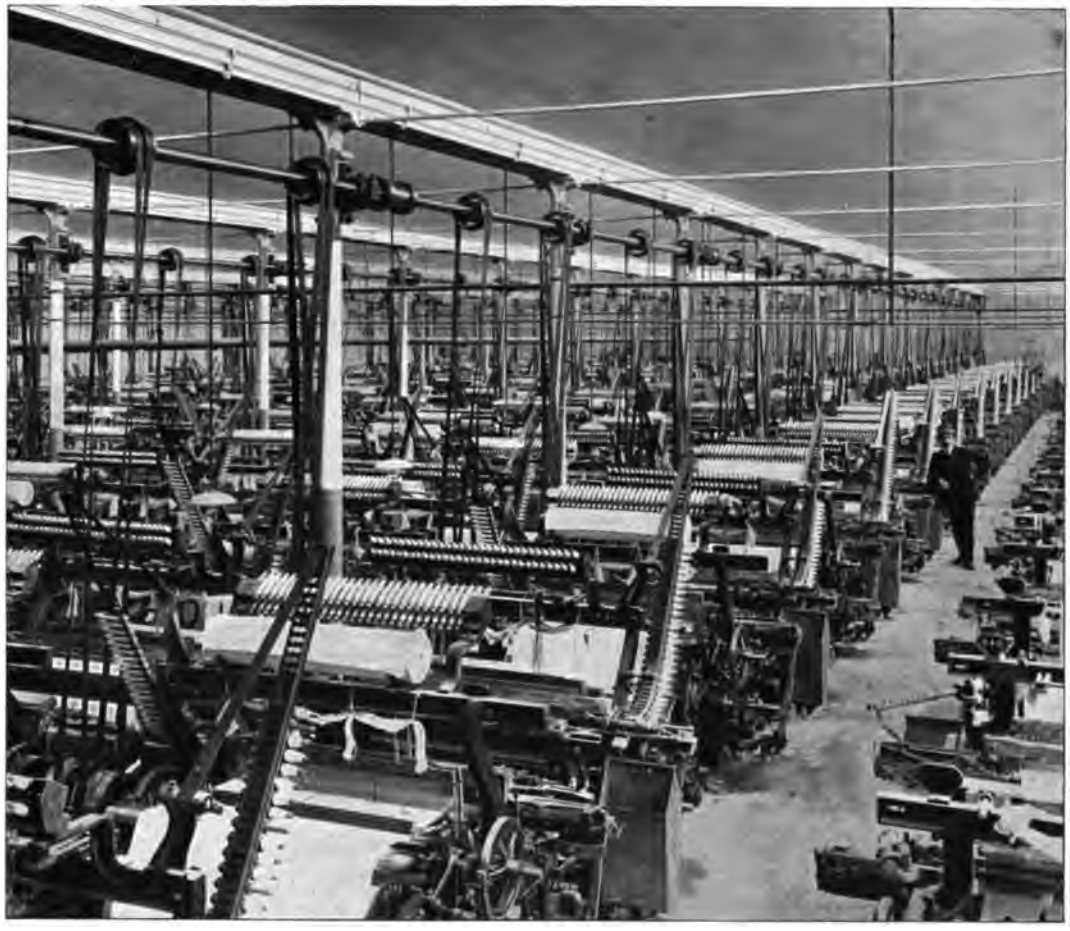
Die Ware läuft in Abbildung 45 über den Führungstisch B (Brustbaum) an die Walze Sa (Sandbaum), die mit rauher Oberfläche versehen ist. An Sa wird der Warenbaum Z angepreßt. Da Sa für jeden Schuß eine der gewünschten Warendichte entsprechende Schaltung erhält — für dichte Ware weniger, für leichtere Ware mehr —, kann die Schußzahl, welche auf 1 cm Warenlänge entfällt, unschwer geregelt werden. Die Kettfadenzahl auf den Zentimeter ist durch die Zahl der Kettfäden auf die Kettbaumbreite festzulegen.

Jeder einfache Stuhl hat zwei Sicherheitsvorrichtungen. Die eine bringt den Stuhl zum Stillstand, wenn der Schußfaden fehlt oder bricht (Schußwächter), die andere stellt den Stuhl ab, wenn der Schützen im Fach steckenbleibt (Schützenschlagwächter), und verhindert zugleich eine Beschädigung von Blatt und Kette. Bei Sp sind Spannvorrichtungen vorhanden, die das durch die Elastizität des Gespinstes in der Schußrichtung zusammengehende Gewebe auseinanderspannen, damit die Eckfäden nicht zu stark im Riet reiben.

In der Baumwollweberei gelangt für rohe Ware der automatische Stuhl, von Northrop erfunden, mehr und mehr in Aufnahme. Der Schußwächter stellt hier bei Schußmangel nicht ab, sondern es erfolgt die selbsttätige Wechslung der Schußspule während des Ganges. Dies erfordert die Anbringung eines Schußspulenmagazins, damit jederzeit hinreichend neue Schußkörper zur Verfügung stehen. Abbildung 46 zeigt einen Saal mit Northropstühlen. Da dieser Automat es dem Weber gestattet, der sonst durchschnittlich nur zwei Stühle bedienen konnte, zehn bis sechzehn Stühle zu übernehmen, muß der Stuhl noch mit einem selbsttätigen Absteller verbunden werden, der ihn zum Stillstand bringt, wenn ein Kettfaden reißt. Sonst würde die Ware, da die Beaufsichtigung des einzelnen Stuhles eine viel geringere ist, unbrauchbar ausfallen. Der Stuhl läuft am besten mit 170—175 Schlägen in der Minute, während der gewöhnliche Baumwollstuhl bis 200 und 220 machen kann. Für Wollwaren ist der Automat indessen noch nicht brauchbar gemacht.

Die Stühle für Wollgewebe (Buckskinstühle) sind in vielen Fällen sehr breit; aber wenn auch selbstverständlich in den Einzelheiten bemerkenswerte Abweichungen von dem einfachen Baumwollstuhl vorhanden sind, so bleibt der Arbeitsapparat selbst doch in der Hauptsache derselbe. Dasselbe gilt für die Leinen-, Jute- und Seidenstühle.

Von besonderer Bedeutung für die Gewebebildung und Gewebeart ist die Bindung, das ist die Art und Methode, in welcher die Kett- und Schußfäden miteinander verschlungen sind. Jeden Punkt, an welchem zwei Faden sich überkreuzen, bezeichnet man als Bindungspunkt, und je nachdem dieselbe Überkreuzung sich nach zwei, drei, vier, zehn usw. Schüssen wiederholt, unterscheidet man zwei-, drei-, vier-, zehnbindige Ware. Die Bindigkeit bedingt auch die Schaftzahl, man kann also ebenso von zwei-, drei-, vier-, zehnschäftiger Ware reden. Die Exzenterstühle (Abbildung 45) lassen sich dabei über eine gewisse Grenze hinaus nicht anwenden. Für geringere Schaftzahl legt man die Exzenter in den Stuhl (Innentritt), für größere nach außen (Außentritt). Über etwa 8—10 Exzenter werden kaum verwendet; es gelangen dann die zusammengesetzten Exzenter zur Anwendung, die bis zu 16 und sogar 20 Schäften aus Teilstücken zusammengesetzt und in trommelartigen Gehäusen vereinigt werden (Trommelstühle). Bei großer Schaftzahl (16—24) sind aber auch die Trommelstühle nicht mehr praktisch, man geht dann zur sogenannten Schaftmaschine über, d. i. eine am Stuhl angebrachte besondere Maschine zur Betätigung der Schäfte. Diese Vorrichtungen sind zum Beispiel derart konstruiert, daß jeder Schaft sein eigenes Huborgan, eine sogenannte Platine, hat, die nur dann mit ihrem Schaft von einem auf und ab oder hin und her bewegten Greifer bzw. Messer mitgeschleppt wird, wenn sie in die Bewegungsbahn desselben gestellt wurde. Das letztere geschieht mittels eines von der Art der Bindung abhängigen und für jeden Schuß anders gestalteten Druckorgans, das die federnde Platine zurückdrückt oder vorgerückt stehen läßt. Die Druckorgane sind — jeder Schaft erfordert für seine Platine eins — gewöhnlich an einer Karte befestigt und werden mit dem Schuß fort-



Abbild. 46. Websaal mit automat. Stühlen der Elsäss. Maschinenbaugesellschaft in Mülhausen i. E.

geschaltet. Demnach besteht die Einrichtung aus folgenden Hauptteilen: Schaft mit Platine, vor der federnden Platine ein Druckstift oder keiner, so daß der Schaft unten bleibt oder nach oben mitgeht. Selbstverständlich werden diese Schaftmaschinen in mannigfaltigen Konstruktionen gebaut, alle aber besitzen den Vorteil gemeinsam, daß sie nur eines auf sehr geringen Raum beschränkten Apparates für zahlreiche Schäfte bedürfen. Man unterscheidet zum Beispiel Einhub- und Doppelhubschaftmaschinen, je nachdem das Messer für jeden Schuß einen vollen Hin- und Hergang oder nur einen Gang zu machen hat; letzteres hat für größere Geschwindigkeiten den Vorteil sicheren Arbeitens. Wenn die Schäfte nach jedem Schuß das Fach schließen, so sind das Geschlossenfachmaschinen, andernfalls Offenfachmaschinen usw.

Wenn die Bindung sehr kompliziert ist und eine noch unabhängigere Betätigung der Kettfäden erfordert, als sie von den Schaftmaschinen ermöglicht werden kann, ist man genötigt, zur Jacquardmaschine überzugehen. Dieselbe ist von Karl Maria Jacquard 1808 erfunden worden, doch ist ihr Arbeitsprinzip schon früher wenigstens in einigen Punkten bekannt gewesen. Die Schaftmaschine ist indessen keine Vorläuferin der Jacquardmaschine, sie wurde vielmehr erst später aus dieser abgeleitet. Bei der Jacquardmaschine wird in der Tat jeder Faden unabhängig vom anderen be-

tätigt, so daß die verwickelteste Bindung, das komplizierteste Dessin von ihr hergestellt werden kann.

Der Arbeitsapparat einer Jacquardmaschine ist in Abbildung 47 dargestellt. Jeder Faden geht durch eine besondere Öse o, die an der Litze L befestigt ist. g ist ein Bleigewicht. Die Schnur ist an der Platine i aufgehängt, welche durch eine Schleife der Nadel n hindurchgeht, die wieder mittels einer Feder e in Stellung gehalten wird. An den Platinen i bewegen sich die Messer m auf und ab. Das Prisma y erhält hin und her gehende Schaltbewegung, wobei für jeden neuen Schuß eine neue Pappkarte vor den Nadelkasten zu liegen kommt bzw. an diesen anschlägt. Die Platinen, deren Nadeln in ein Loch der Karte eindringen, bleiben im Bereich des Hubmessers liegen und werden nach aufwärts mitgenommen, die Kettfäden, die von ihnen abhängen, gehen also in das Oberfach. Wenn die Karte kein Loch hat, schlägt sie die Nadel mit der Platine zurück, und das Messer geht frei an i vorbei. Das Dessin wiederholt sich im Gewebe, man nennt die Wiederholung den Rapport. Die in den Rapporten gleichlaufenden Kettfäden werden an dieselben Platinen geschnürt. Statt der Pappkarten können an der verbesserten Maschine des Systems Verdol, die einen Nadeltaster hat, Papierkarten angewendet werden, wodurch es möglich wird, große Dessins mit geringem Kartengewicht zu bewältigen. Abbildung 48 zeigt einen automatischen Stuhl der Maschinenfabrik Rüti mit Jacquardeinrichtung.

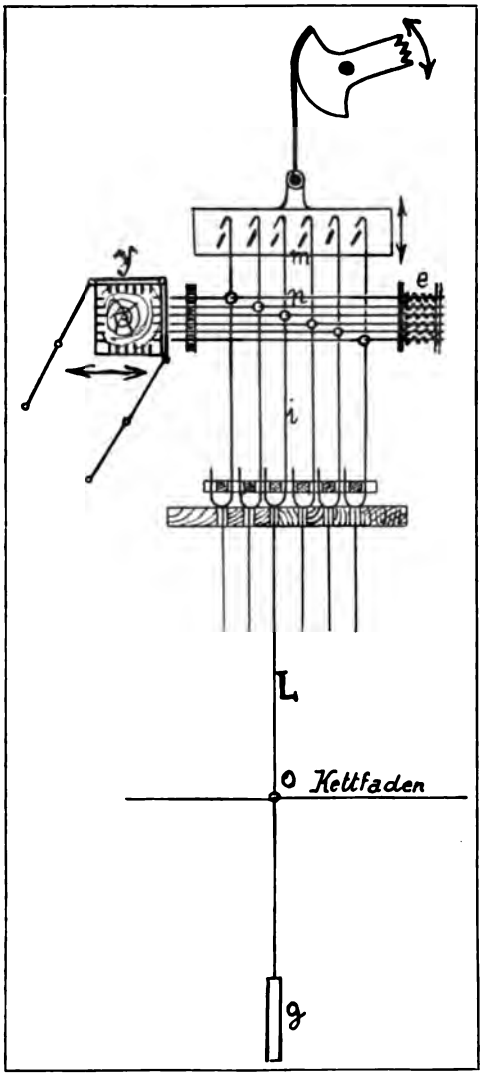


Abbildung 47. Jacquardmaschine.

Der Erzeugung der Webewaren ähnlich, soweit die Herstellung eines Flächenkörpers aus Fadenmaterial in Betracht kommt, ist die Bildung von Wirk- und Strickwaren. Das Gewebe besteht jedoch aus zwei sich kreuzenden Fadensystemen (Kette und Schuß), die Erzeugnisse der Wirkerei können nur ein Fadensystem haben. Man unterscheidet hiernach zwei technologisch bemerkenswert verschiedene Gruppen: a) die Schußwirkwaren oder Kulierwirkwaren, wenn das Gewirk nur mittels der ineinandergehängten Maschen eines Schußfadens gewonnen wird; b) die Kettenwirkwaren, wenn nur die nebeneinanderliegenden Fäden eines Kettfadensystems Verwendung finden. Das Merkmal der Maschenwaren ist also die Verwendung von nur einem Fadensystem.

Die Veredelung der Gewebe besteht in dem Bleichen, Färben, Drucken und Appretieren. Von diesen ist das Bleichen ein chemischer Vorgang, der bei den vegetabilischen Fasern — Baumwolle, Flachs usw. — in der Hauptsache in einem Oxydationsvorgang be-

Seidenstrangfärberei bei Spindler in Köpenick.

Zu Johannsen: Die Verarbeitung der Faserstoffe in der Textil- und Papierindustrie.

steht. Die natürliche Bleiche oder Rasenbleiche hat fast vollständig der künstlichen Bleiche mittels der Salze der unterchlorigen Säure, vornehmlich des Chlorkalks, weichen müssen. Sie besteht darin, daß die Gegenwart des Chlors das Freiwerden des Sauerstoffes begünstigt und hierdurch den Oxydationsprozeß herbeiführt. Der Bleichprozeß besteht jedoch für baumwollene Waren aus einer großen Reihe einzelner Arbeitsvorgänge, so des Kochens in alkalischer Lauge (Bäuchen), des Kalkens, Waschens, Säuerns usw. Man unterscheidet Halb- und Vollbleiche.

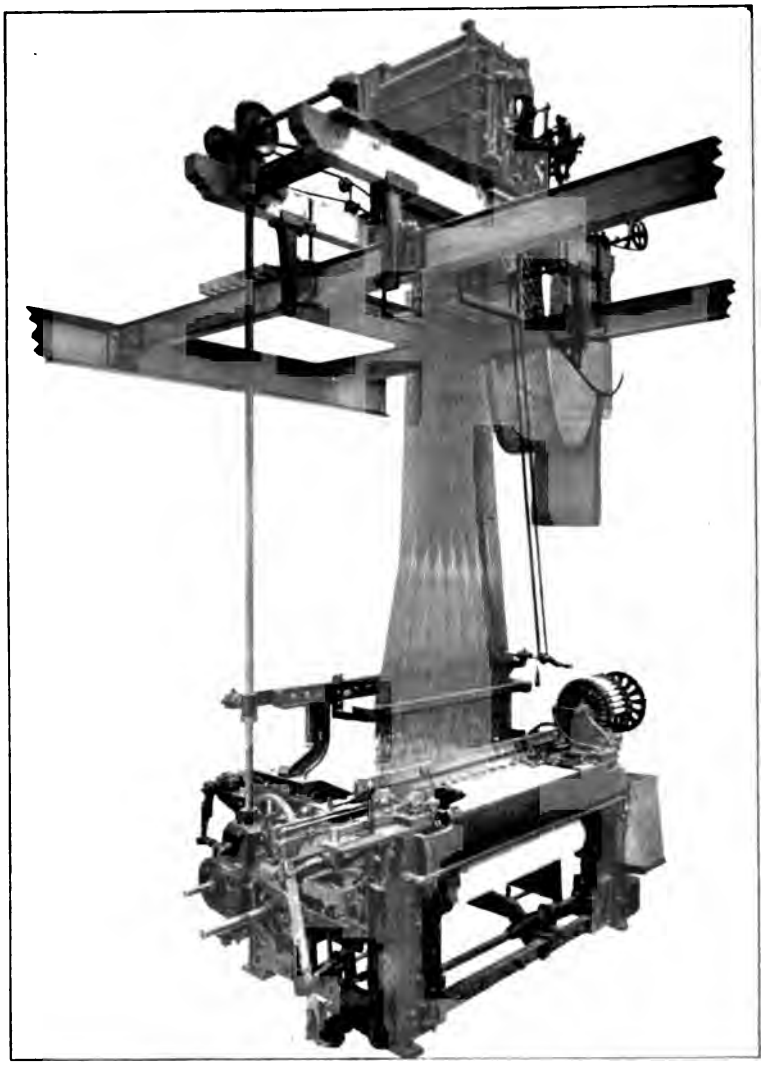


Abbildung 48. Automatischer Webstuhl mit Jacquardmaschine der Maschinenfabrik vormals Caspar Honegger in Rüti (Schweiz).

Besondere Bedeutung hat in der Veredelung der Baumwollwaren die „Merzerisation" erlangt, d. i. die Behandlung mit hochgradiger Natronlauge (30 bis 35° Bé), wodurch die Faser schrumpft und glänzendes Aussehen erlangt. Die Schrumpfung läßt sich ausgleichen, wenn man zugleich streckt, wodurch die Glanzwirkung noch wesentlich erhöht wird. Merzerisierte Gewebe erhalten besonders effektvollen Glanz, wenn man sie durch feine Riffelwalzen auf dem Kalander (15—20 Riffeln auf 1 mm) mit sehr enger und feiner Oberflächenrippung ausstattet. Die so behandelte Ware erhält einen stumpfen Seidenglanz von großer Schönheit.

Das Färben der Baumwollwaren erfolgt im Strang (als Garn) oder im Stück (als Gewebe). Für bunte Gewebe wird die Kette und der Schuß oder nur eins der Fadensysteme im Strang gefärbt und dann weiterverarbeitet; neuerdings gelangt jedoch auch vielfach das Färben der Kette auf dem Baume (Baumfärberei) zur Anwendung. Der Schuß muß fast immer für den Färbeprozeß umgehaspelt und umgespult werden, da das unmittelbare Färben der Cops, d. s. die von der Spinnmaschine gelieferten Garnkörper, sich nur für einige wenige Farben bewährt hat. Die Durchfärbung ist zu schwierig durchführbar und mißlingt in den meisten Fällen.

Um gebleichte Garne zu erzeugen, gelangt heute vielfach die Bleichung eines Zwischenfabrikats des Spinnprozesses zur Anwendung. Man wählt hierfür zumeist des Kardenband, seltener das Streckband, vereinzelt wurde auch die Lunte des Grobflyers gehaspelt und in Strangform gebleicht.

Die Buntspinnerei und Melangespinnerei verarbeitet in der Flocke und im Band gefärbtes Material, wobei sich durch die Mischung verschiedener Farben in bestimmtem Prozentverhältnis viele schöne Effekte erzielen lassen. Imitatgespinste sind solche, die nach dem Streichgarnverfahren aus Baumwolle (zumeist bunt) behufs Nachahmung von Wollgarnen hergestellt werden.

Einen großen Aufschwung hat die Veredelung, die man als Färberei bezeichnet, durch die Einführung der künstlichen Farbstoffe (Teerfarbstoffe) erfahren, die seit der genialen Erfindung des synthetischen Indigos ziemlich vollständig die natürlichen Farbstoffe verdrängt haben.

Die Druckerei ist als „örtliches" Färben zu bezeichnen, d. h. die Farbstoffe werden, durch ein Verdickungsmittel konsistent und nicht ausfließend gemacht, mittels Formen (Druckmodel) auf bestimmte Partien des Gewebes aufgedruckt. Hierdurch entstehen Muster (Dessins), die sich in solcher Mannigfaltigkeit durch den Webeprozeß nicht erzielen lassen, weil auch die Jacquardmaschine noch an bestimmte technische Ausführungsbedingungen gebunden ist. Früher wurde von Hand mittels einer Druckform, die das Muster erhaben enthielt (en relief), gedruckt. Der Druckmodel hatte eine plattenförmige Gestalt, die auch bei der sogenannten Plattendruckmaschine (Perrotine) noch in Anwendung stand. Man ist indessen heute von dieser wenig leistungsfähigen Maschine abgekommen und zur Walzendruckmaschine (Rouleauxdruckmaschine) übergegangen, welche das Muster vertieft in Kupfer- oder Bronzewalzen eingraviert enthält. Diese Walzen sind am Umfang eines großen Zylinders verteilt, der mit elastischer Umhüllung versehen ist. Durch Anpressung übertragen die Walzen die aus einem Trog aufgenommene Farbe auf das zwischendurchlaufende Gewebe. Es lassen sich auf diesem Wege die mannigfaltigsten Dessins durch Anwendung verschiedener Farben erzielen.

Die Appretur der Baumwollgewebe besteht in einem künstlichen Verschönern der Gewebeoberfläche durch Aufbringen eines Appretes (Stärkelösungen usw.). Man nennt dies das „Klotzen" oder „Platschen". Das darauffolgende Kalandern besteht in dem Durchlassen des Gewebes durch schwerbelastete Walzen, zum Beispiel bei einem Dreiwalzenkalander eine kleinere mit Dampf geheizte Eisenwalze in der Mitte, oben und unten je eine aus elastischem Material (z. B. gepreßte Baumwolle) hergestellte größere Gegenwalze. Der Druck von 15000—30000 kg schließt die Maschen und glättet die Oberfläche. Erhalten die Walzen gleiche Umfangsgeschwindigkeit, so findet nur ein Überrollen und leichtes Glätten der Oberfläche statt (Rollkalander). Bei ungleichen Geschwindigkeiten entsteht durch die Oberflächenreibung höherer Glanz (Friktionskalander).

Eine ebenfalls mit Preßwalzen arbeitende Maschine ist die Mangel. Hier wird jedoch das Gewebe nicht in einzelner Bahn hindurchgelassen, sondern in Gewebewickeln (Kaulen) vorgelegt, welche zwischen den hydraulisch zusammengepreßten Mangelwalzen hin und her gerollt werden. Durch das vorher eingesprengte Wasser entsteht hierbei ein eigenartiger, als Moiré bezeichneter Effekt.

Für das Trocknen feuchter Gewebe verwendet man besondere Maschinen, die dem Stoff während des Durchganges durch den Trockenraum eine seitliche Spannung geben und die Schrumpfung aufheben (Spannrahmen).

Die tierischen Haare und Wollen können nicht durch Chlor gebleicht werden. Ein altes Bleichmittel, das wahrscheinlich schon die alten Völker kannten, ist Schwefeldioxyd (schweflige Säure), das beim Verbrennen des Schwefels entsteht. Man bringt die Stoffe in geschlossene Kammern und setzt sie der gasförmigen schwefligen Säure, die als Reduktionsmittel wirkt, aus. Das hat auch zur Folge, daß solche Stoffe später unter der Einwirkung der Luft wieder nachgilben. Sehr gute Bleichmittel sind auch Wasserstoffsuperoxyd und Natriumsuperoxyd.

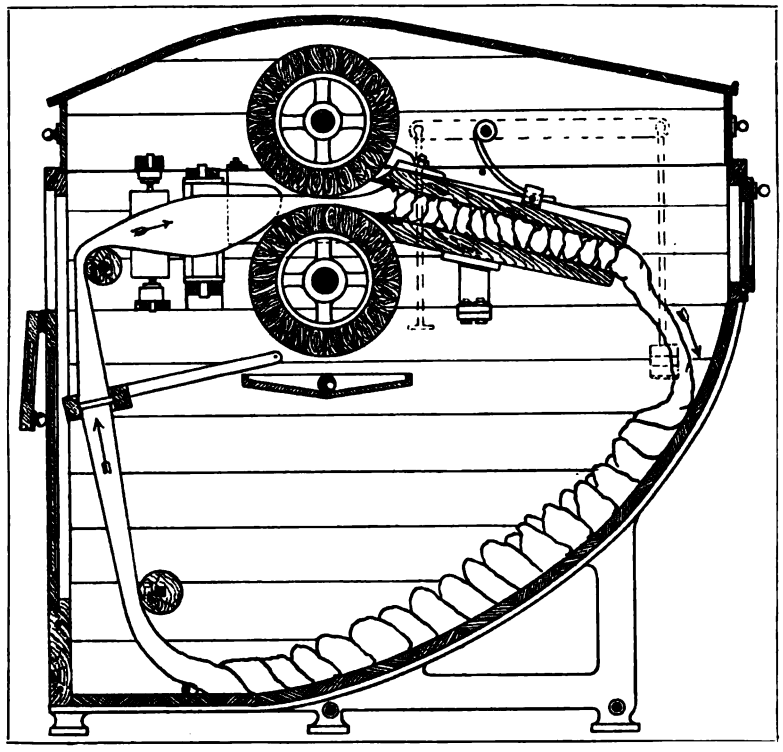


Abbildung 49. Quades Universalwalke.

Die Tuchfabrikation wie überhaupt die Appretur der Wollstoffe verwendet einige besondere Eigenschaften aller Wollen für die Verschönerung der Gewebe: die Filzungsfähigkeit und die Formbarkeit der Hornsubstanz in warmem Zustande. Eine der bekanntesten Veredelungsprozeduren der Wollstoffe ist das Walken, durch das die Oberflächenhaare eines Gewebes derart verfilzt werden, daß sich eine die Gewebemaschen vollständig zuschließende Decke bildet. Man verwendet zum Walken schlagende Werkzeuge (Hammerwalken), die die Ware leichter schädigen können, und Walzenwalken, welche durch den Druck und nicht durch Stoß wirken. Die Walzenwalke (Abbildung 49) wirkt derart, daß die Walzen das Gewebe in einen sich verengenden Kanal schieben, der den Durchgang erschwert. Hieraus entsteht eine Pressung und eine schiebende Bewegung, die gemeinsam mit der Erwärmung durch die Walkflüssigkeit die Verfilzung der Oberfläche zur Folge haben. Nach dem Walken, bei dem alle Gewebe eingehen, wird gewaschen, dann mittels Rauhkarden gerauht (eine haarige Decke an der Oberfläche erzeugt) und durch Scheren die Vergleichmäßigung der Decke erzielt. Die weiteren Arbeiten der Appretur bestehen in dem Dekatieren, wobei das Tuch auf gelochten Metalltrommeln der Wirkung des Dampfes ausgesetzt wird, so daß es seine Appretur besser beibehält, auch glänzend bleibt und später unter Einwirkung der Feuchtigkeit weniger leicht eingeht. Das Bürsten gibt der Haardecke den Strich, ihm folgt das Pressen zwischen heißen Platten oder Mulden, wodurch der schöne gleichmäßige Glanz erzeugt wird. Das durch die Wärme bildsam gemachte Haar erfährt unter dem Einfluß des Preßdruckes die Formgebung, und da sich alle Haare eben legen, wird die Oberfläche glatt, gleichmäßig glänzend, ohne jedoch unedlen Spiegelglanz anzunehmen. Durch das Bürsten und Pressen kann man die verschiedenartigsten dauernden Formen in der Haardecke erzeugen.

2. DIE PAPIERFABRIKATION

Das Papier hat seinen Namen von der ägyptischen Papyrusstaude, aus deren Mark die Ägypter schon 3000 v. Chr. dünne Streifen schnitten, in abwechselnden Lagen längs und quer unter Zuhilfenahme von Nilwasser, das den Pflanzenleim löste, übereinanderklebten, preßten und trockneten. Um größere Formate (Rollen) zu erhalten, wurden derartig gewonnene Blätter mit Stärkelösung aneinandergefügt. Auch die Römer und Griechen bedienten sich dieses Erzeugnisses und nannten es charta bzw. chartos. Mit dem Papyrus hat das neuzeitliche Papier nur den Namen und den Zweck gemeinsam, die Gewinnung ist eine gänzlich abweichende. Es gilt als sicher, daß die Chinesen die Erfinder des aus feinsten und kürzesten Pflanzenfasern durch eine Art Verfilzungsprozeß erzeugten blattförmigen Fabrikates sind, welches wir Papier nennen. Man nimmt an, daß die Chinesen aus den Bastfasern des Maulbeerbaums und Chinagrases schon 100 v. Chr. Papier zu bereiten verstanden. 751 n. Chr. brachten Kriegsgefangene die Kunst, Papier aus Pflanzenfasern — darunter Fasern von Gewebeabfällen — zu bereiten, nach Persien (Samarkand), und lange Zeit war im Orient die Papiermacherei ein viel geübtes Gewerbe. Am Ende des 8. Jahrhunderts befand sich in Bagdad eine staatliche Papierfabrik, deren Erzeugnisse aus Leinenhadern gewonnen wurden; aber auch Baumwolle wurde, wie aus vorhandenen Manuskripten nachgewiesen worden ist, um diese Zeit schon für die Papierbereitung herangezogen. Aus dem Orient übernahmen zunächst die Mauren die Papiermacherkunst und führten sie wenig nach 1100 in Spanien und dem heutigen Marokko ein, wo namentlich in Fez zahlreiche Stampf- und Mahlvorrichtungen für die Zerkleinerung und Zerfaserung des Hadernmaterials im 12. Jahrhundert in Betrieb kamen. Die Araber betrieben diese Papiermahlgänge (Mahlsteine) zumeist mit Wasserkraft und sind als die ersten anzusehen, die einen eigentlichen Mahlprozeß einführten und die „Papiermühle" vorbereiteten. Im übrigen Europa fand das wichtige Gewerbe dann rasch Eingang, um 1200 in Frankreich, 1250—1300 in Deutschland (Kaufbeuren, Augsburg, Nürnberg) und etwas später (1356) in Österreich, England und Italien. Das alte Stampfgeschirr, das zwar sehr gut zerkleinerte und namentlich Fasern mit pinselförmig zerteilten, gut verfilzenden Enden ergab, wurde durch eine neue Mahlvorrichtung, die quantitativ viel leistungsfähiger war, den „Holländer", verdrängt, der zwar in Deutschland erfunden wurde, aber erst in Holland zu voller Geltung gelangte. Die Steigerung der produktiven Leistung der Mahleinrichtungen war mitbedingt worden durch den mit der Erfindung der Buchdruckerkunst einsetzenden größeren Bedarf, und es war ein natürlicher Vorgang im Werdeprozeß der modernen Papiertechnologie, daß man die wenig leistungsfähige Handpapiermacherei mit dem Schöpfsieb durch mechanische Einrichtungen zu ersetzen suchte. Der Ruhm, die erste Papiermaschine erfunden zu haben, gebührt dem Franzosen Robert, der 1800 in Essonne bei Paris gemeinsam mit Didot eine Schüttelmaschine für große Bogen erfand. Der Engländer Dickinson hat dann 1810 die erste Papiermaschine für endloses Papier ausgeführt, nachdem schon vorher das Prinzip der Zylindermaschine, das er anwendete, von Leistenschneider angegeben worden war. In Deutschland wurde 1816 die erste Papiermaschine in Weida in Sachsen von Keferstein aufgestellt, 1819 folgte Österreich. Durch die Entwickelung der mechanischen Einrichtungen stiegen die Produktion und der Konsum außerordentlich, so daß rasch die Frage aktuell wurde, wie der durch die Hadern nur in beschränkten Mengen zu beschaffende Rohstoff des eigentlichen Lumpenpapiers ersetzt werden könne. In ziemlich rascher Folge wurden das Holz-

schleifverfahren (1840 von Robert Keller in Sachsen) (Bd. I, S. 345) für die Gewinnung des mechanischen Holzschliffs, das Verfahren von Menier (1850) für die Erzeugung des Strohstoffs, das verbesserte Holzschliffverfahren von Völter-May (1860), die Verarbeitung des Espartograses (afrikanischen Wüstengrases) zu Papierstoff von Ruledge (1865) und das Verfahren der Gewinnung der Holzfaser auf chemischem Wege (Zelluloseverfahren) von Lee und Mitscherlich (1870 und 1876) erfunden. Der Amerikaner Lee erzeugte (1870) durch Kochen des entsprechend vorzerkleinerten Materials der Nadelhölzer in Soda (daher Natronzellulose) einen durch die entstehende Harzauflösung braunen Zellstoff, der neuerdings wegen der Anwendung von Natriumsulfat (Glaubersalz) auch als Sulfatzellstoff bezeichnet wird. Mitscherlich verwendete für die Kochung die Salze der schwefligen Säure (Sulfite), die im Kochprozeß eine reduzierende Wirkung ausüben; dieses ursprünglich von dem Amerikaner Tilghmann angegebene, aber zunächst praktisch nicht verwertbare Verfahren wurde von Mitscherlich in sehr günstiger Form ausgestaltet und gelangt heute wegen der weißen Farbe, die der so gewonnene Sulfitzellstoff annimmt, in überwiegendem Maße zur Anwendung (vgl. Bd. I, S. 351). Die nicht aus Hadern stammenden Rohstoffe pflegt man auch als Surrogate zu bezeichnen.

Die Fabrikation des Papiers ist heute eine außerordentlich umfangreiche. In nachstehenden Zusammenstellungen ist die Papiererzeugung der europäischen Staaten und der Außenhandel in Papier wiedergegeben:

	Jährliche Doppelzentner*			Verbrauch pro Kopf und Jahr exkl. Export, inkl. Import für 1906 kg
	1875	1900	1906	
Belgien	272 400	600 000	1 100 500	11,1
Dänemark	31 800	60 000	116 500	6,4
Deutschland	2 298 000	7 200 000	12 805 500	19,7
England	1 682 100	4 650 000	8 993 100	25,3
Frankreich	1 497 000	3 500 000	5 671 800	14,0
Griechenland	—	10 000	7 000	1,8
Italien	433 150	2 000 000	2 612 400	7,5
Luxemburg	—	—	11 000	4,8
Niederlande	82 050	570 000	835 000	14,4
Österreich-Ungarn mit Bosnien	791 850	2 600 000	3 906 850	Österr. 11,1 Ungarn 3,6 Bosnien 0,4
Portugal	28 150	100 000	180 000	3,4
Rumänien	—	50 000	69 000	1,2
Rußland u. Finnland	326 700	1 100 000	2 173 000 770 000	2,2 23,4
Schweden u. Norwegen	99 000	900 000	2 325 000 1 190 000	24,0 16,3
Schweiz	151 800	330 000	457 500	15,0
Spanien	57 300	600 000	851 500	4,4
Zusammen	7 754 300	24 270 000	44 075 950	—

Zur Papierfabrikation eignen sich nur vegetabilische Materialien, da die Faser steif, glatt und gut verfilzbar sein muß, um eine glatte, schreibfähige Oberfläche zu erzielen. An erster Stelle steht die Leinenfaser, deren geradegestreckte Form, Struktur und Glätte eine sehr gute Oberfläche gewährleisten; die Baumwolle ist weicher

* Nach Franz Krawany, Direktor der Papier-Union, Wien.

und schmiegsamer und enthält ein größeres Lumen, so daß auch dies Papier weicher und schwammiger ausfällt. Außer der Flachs- oder Leinenfaser eignen sich auch die anderen Bastfasern zur Papierbereitung, wie Hanf usw., doch gibt Leinen das feinste und beste Papier. Die animalischen Fasern sind ungeeignet, weil ihre Oberfläche aus Schuppen besteht, die zwar gut filzen, aber das Papier rauh und schreibunfähig machen. Alle animalischen Fasern, die den Lumpen beigemischt sind — z. B. in Mischgespinsten — werden im Kochprozeß durch die angewendeten Alkalien zerstört.

Für die Papierbereitung kommen demnach die aus den Hadern — seien es nun schmutzige Lumpen oder reine Abfälle von Leinen-, Hanf-, Baumwollgeweben usw. — gewonnenen pflanzlichen Materialien, sodann aber die aus der Natur unmittelbar gewonnenen Rohstoffe in Betracht, welche nur durch mechanische Zerfaserung (Holzschliff) oder durch eine chemisch-mechanische Gewinnung — Holzzellulose, Stroh, Esparto, Alfa, Diss (die letzten drei Wüstengräser) — erhalten werden. Ein eigentümliches Rohprodukt ist die sogenannte Virgofaser, die man neuerdings in Nordamerika aus dem Baumwollsamen gewinnt und die in kurzen Resten nach dem Entkörnen sowohl in die Samenrinde eingewachsen wie außerhalb dieselbe bedeckend vorhanden ist. Ein weiterer Rohstoff ist das Altpapier. Durch Kneten und Quetschen in Kollergängen oder auch Stampfvorrichtungen (auch Knetmaschinen eignen sich hierzu) erhält man das Material zerkleinert. Schwieriger ist die Leimauflösung, die nur mit Hilfe größerer Mengen von Wasser herbeigeführt werden kann und mitunter eine Kochung erfordert.

Die Hadern, Lumpen oder Strazzen werden zunächst im Sortiersaal nach dem Rohstoff sortiert, da der Verkauf durch die Lumpensammler vielfach unsortiert erfolgt. Bei der Sortierung wird auch auf die Reinheit und Farbe Rücksicht genommen. Man unterscheidet dabei in a) reine weiße (gebleichte) Leinenlumpen; b) gebleichte, aber durch den Gebrauch verschmutzte Leinenlumpen; c) ebenso Lumpen aus Hanf; d) weiße und e) gefärbte Baumwollumpen. In jeder Abteilung wird dann noch in Grob, Mittelfein und Fein unterschieden. Mit dem Sortieren verbindet man ein Abtrennen von harten Teilen (Nähten, Knöpfen, Metallösen etc.), wobei das Schneidemesser senkrecht und fest steht, so daß die Arbeiterin das Stoffstück an der Schneide entlang führen kann. Gewöhnlich geht der bei gebrauchten Lumpen immerhin vorhandenen Infektionsgefahr wegen ein trockenes (mechanisches) Entstäuben voraus, um den schlimmsten Staub zu lösen und durch Ventilatoren zu entfernen. Die Maschinen hierzu sind: 1. die Haderndrescher (Abbildung 50), die mit Schlagflügeln die Hadern bearbeiten und durch Luftströmung den freiwerdenden Staub abziehen. Der Verlust beträgt hierbei etwa 5 %. Nach dem hierauf vorgenommenen Sortieren und Handschneiden (2), das schon erwähnt wurde, gelangen die Stoffstücke auf einen Hadernschneider (3), der aus einem Zuführtisch und zwei Einzugzylindern besteht, welch letztere das Material auf einen kurzen Tisch schieben, der in einer Schneidkante endigt, an welcher die 3 bis 4 Messer einer Schneidtrommel mit etwa 180 minutlichen Umdrehungen vorbeirotieren und kurze Stücke abschneiden. Eine Schüttelvorrichtung reinigt die ablaufenden Hadern, die dann um 90° gedreht ein zweites Mal durch die Maschine gehen und zu Stückchen von 3—5 cm im Quadrat zerteilt werden. Hadernschneider mit vertikalbewegten Stoßmessern heißen Guillotineschneider. Mit dem zweiten Hadernschneider wird oftmals unmittelbar der zweite Drescher (4) verbunden, so daß beide Maschinen ein Aggregat bilden. Demnach hat das Material bis jetzt folgende Operationen zu durchlaufen gehabt: 1. Dreschen der unsortierten Hadern; 2. Sortieren der Hadern und Abtrennen der harten Teile;

3. Schneiden der Hadern in kleinere Stücke von 3—6 qcm; 4. zweites Dreschen auf einem Hadernentstäuber, der die zerkleinerten Stoffstücke bearbeitet.

Ein Haderndrescher neuerer Bauart, wie er von J. M. Voith in Heidenheim ausgeführt wird, ist in Abbildung 50 dargestellt. Bei a läuft ein endloses Einzugtuch gegen die Einzugzylinder c, und letztere übergeben die Hadern den Dreschern, welche, vier an der Zahl, über Rosten arbeiten, durch die sie grobe Unreinigkeiten durchwerfen, während der feinere Staub und Schmutz — soweit er löslich ist — durch einen kräftigen Ventilator bei k abgesogen und bei i in eine vorgelagerte Staubkammer befördert wird. In letzterer beruhigt sich der Luftstrom, und die in ihm mitgeführten Staubmassen setzen sich zum Teil hinter den etwa 1/2 m hohen Einbauungen ab. Die absaugende Wirkung des Exhaustors ist eine so kräftige, daß im Maschinengehäuse ein leichter Unterdruck entsteht, durch den das Eindringen von Außenluft durch die Achslöcher und Verkleidungsfugen ermöglicht und das Stauben nach außen verhindert wird. Zuführung und Abführung sind periodisch-automatisch, d. h. eine Beschickung, die der Länge des Einlaufkanals a des endlosen Tuches entspricht, bleibt für eine bestimmte Zeit im Drescher und wird durch selbsttätiges Öffnen der Auswurfklappe g ausgeschleudert. Die Zeit, die für die Bearbeitung verbraucht wird, benutzt man zur Neubeschickung des Einführtuches. Die Abfallgrube ist wegen der großen Menge ausgeschleuderter Unreinigkeiten groß genug auszuführen und so anzuordnen, daß der Abfall leicht zu entfernen ist, ohne daß man den Gang der Maschine behindert. Der Drescher kann mit der Staubkammer auch zweietagig aufgestellt werden, d. h. die Maschine kommt in den ersten Stock, die Abfallkammer und die Staubkammer in das Erdgeschoß, in welches auch die gedroschenen Hadern durch einen besonderen Schlauch herabgeführt werden.

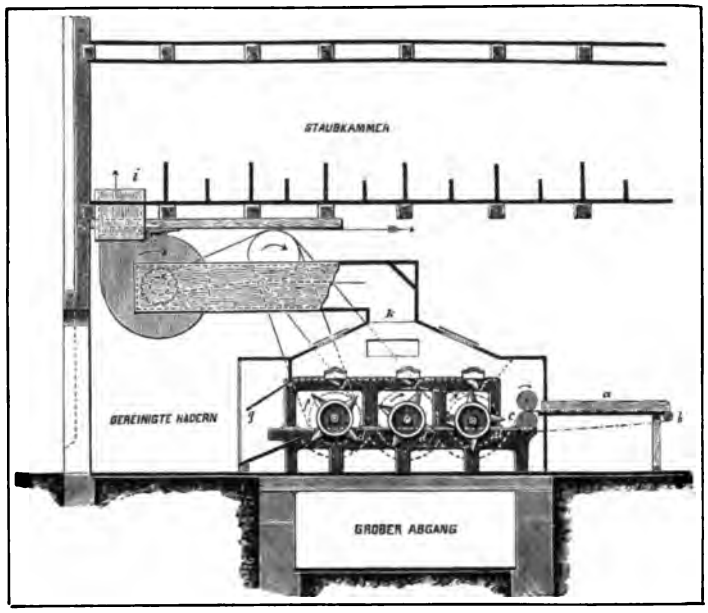


Abbildung 50. Haderndrescher.

Einen Hadernschneider mit vertikal geführten Stoßmessern (System Donkin) zeigt Abbildung 51. Der Messerkörper, den man in dem Schaubild vorn sieht, besteht bei der Ausführung von J. M. Voith aus einem Längsmesser und drei rechtwinklig zu dessen Fläche aufgesetzten Quermessern. Die Messer setzen sich im Niedergehen in tiefster Stellung auf einen Zinkklotz auf, der Schnitt erfolgt allmählich durch stetig anwachsenden Druck ohne Staubbildung. Letztere ist bei dem mit Schlägen auf die Hadern treffenden rotierenden Schneider viel größer, wodurch auch Materialverlust entsteht. Durch Längs- und Quermesser, die minutlich 60 Schnitte ausführen, werden entsprechend kleine Stoffstücke erzeugt.

Natürlich kann die mechanische Entstäubung der geschnittenen Hadern auch mehrmals wiederholt werden, aber der Prozeß ist immer nur von begrenzter Wirksamkeit,

da sehr viele festhaftende Teile — Harz, Schlichte, Leim, Fett, Teer, Farbstoffe — auf mechanischem Wege nicht entfernt werden können. Es folgt deshalb auf die vorbereitende trockene die vollendende nasse Reinigung (5), die als Kochen bezeichnet wird, weil die Hadern in besonderen Apparaten, den Lumpen- oder Haderkochern (Abbildung 52), je nach ihrer Beschaffenheit 4 bis 12 Stunden in alkalischer Lösung bei 2—3 Atm. Druck gekocht werden. Die Gefäße können zylindrisch (liegend, meist jedoch stehend) oder kugelförmig (Kugelkocher, Abbildung 52) sein und erhalten langsame Drehung um die in der Mitte angebrachte Lagerung (1—2 Touren in der Minute). Die Zapfen sind hohl und dienen für den Zulauf der Lauge und des Dampfes wie für die Abführung des Abdampfes und für die Entlüftung. Der Hadernkocher — ähnlich ist der Zellulosekocher — faßt je nach seiner Größe bis 3000 kg Lumpen, die Erwärmung im Innern steigt auf 120—140° C. Als Lauge verwendet man Sodalösung (Natronlauge) oder Kalkmilch (2—4 kg Kalk auf 100 kg Hadern). Das Kochen mit Kalk wird zumeist bevorzugt, weil von dem Überschuß an eingebrachtem Kalk nur ein Teil im Wasser löslich ist; im Verlaufe des Arbeitsprozesses verdünnt sich die Lösung infolge der Kondensation des Kochdampfes, und die Lösung sättigt sich dauernd von selbst aus den vorhandenen Kalküberschüssen. Das Verfahren ist infolgedessen billig und schont die Fasern, obzwar letzteres nicht von so großer Bedeutung ist, da alle vegetabilischen Fasern gegen Alkalien eine ziemlich hohe Widerstandsfähigkeit haben. Die Anwendung von Natronlauge verlangt eine höhere an-

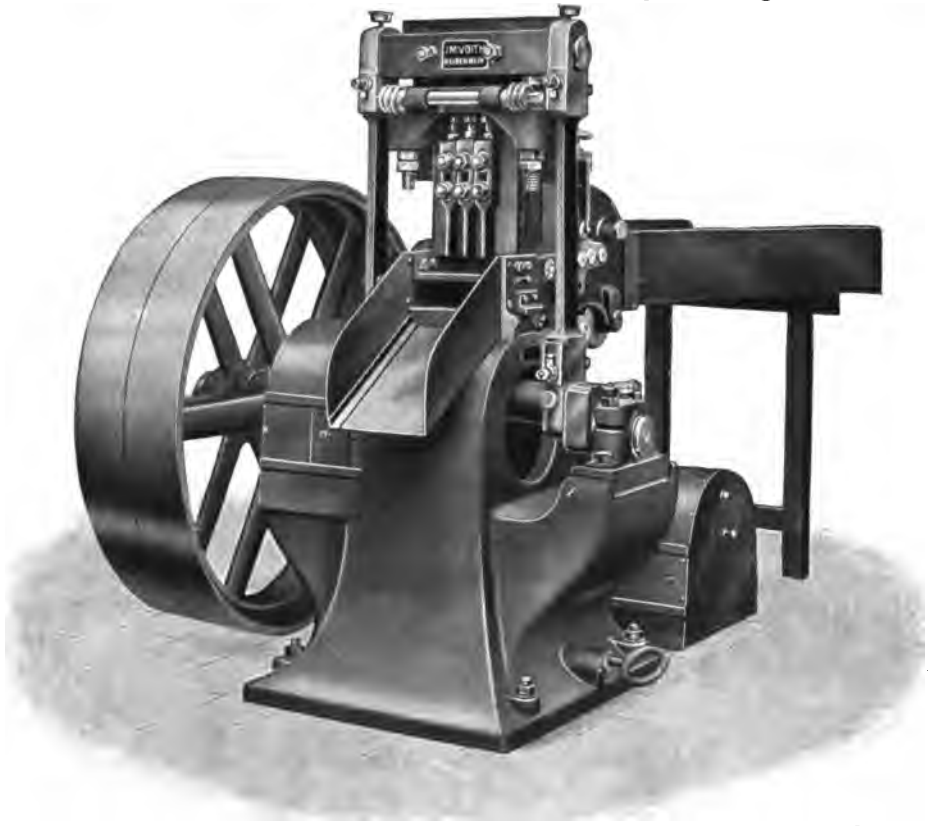


Abbildung 51. Hadernschneider von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

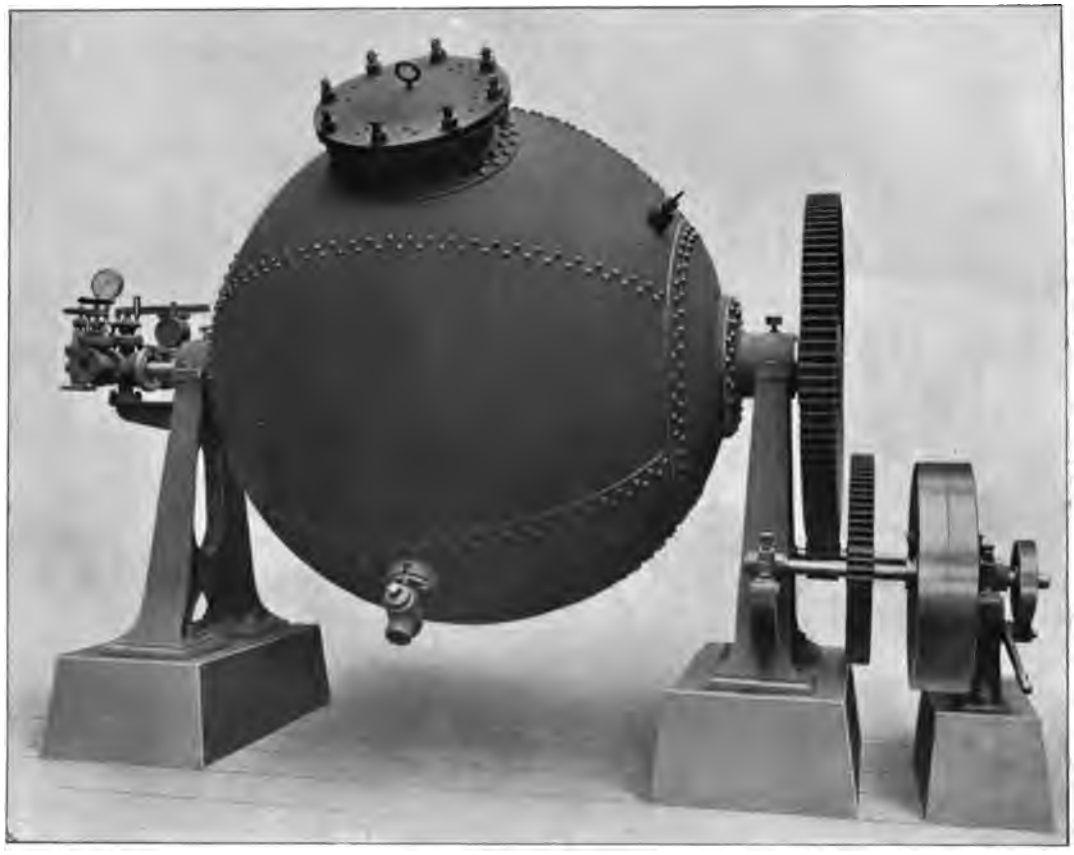


Abbildung 52. Kugelkocher, gebaut von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

fängliche Konzentration der Lauge, da man keine Überschüsse, die ungelöst bleiben, im Kocher gewissermaßen auf Vorrat anhäufen und auch nachträglich keine großen Ergänzungszusätze wegen der mangelnden Kontrolle einbringen kann. Dies macht das Verfahren, wozu auch das Material beiträgt, teurer, und die Fasern werden durch die höhere Anfangskonzentration eher angegriffen.

Die Kocher (Abbildung 52) haben gewöhnlich zwei Mannlochstutzen für das Einbringen und Auswerfen der Hadern. Nach fertiger Kochung einer Beschickung entleert man den Kessel durch Kippung und bringt die noch heißen Hadern, an welchen viele Schmutzteile in erweichtem Zustande noch ankleben, in eine Waschmaschine (6), die also den zweiten Teil der nassen Reinigung bildet. Fette sind im Kocher durch die alkalische Lösung verseift und entfernt worden, auch die Farben sind großenteils zerstört. Harzige, klebrige Teile jedoch (z. B. Teer) haften auch in Lösung noch ziemlich fest und würden wieder verhärten, wenn sie nicht sofort durch eine energische Wasserspülung zur Abscheidung gebracht würden. Für das Waschen könnte jede Vorrichtung, wie sie z. B. auch in der Textilindustrie für denselben Zweck benutzt wird, Anwendung finden, doch verwendet man in der großen Mehrzahl der Fälle eine dem Holländer (Mahlmaschine) nachgebildete Spülmaschine mit ovalem Trog und einem in einen Kropf (siehe Holländer) eingebauten Schaufelrad. Durch die Bewegung des Wassers findet die Abspülung der Unreinigkeiten statt, und in dem Maße, in welchem

sich die Flüssigkeit mit Schmutzteilen anreichert, wird sie durch Waschtrommeln, die ableitend wirken (Hebertrommeln oder Schöpfräder) und das Schmutzwasser fortführen, sowie durch ständigen Zulauf reinen Wassers rein erhalten.

Sodann folgt (7) der mechanische Mahlvorgang auf dem Holländer. Man hat Stampf- oder Hammerholländer (Stampfgeschirre) und Walzenholländer (Abbildung 53, 54, 55, 56 und 57). Die letzteren werden heute fast ausschließlich gebraucht, obzwar die ersten für gewisse Zwecke ein gutes Resultat ergeben. Bei dem Walzenholländer (Abbildung 53, 54, 55 und 56) besteht die Maschine aus einem ovalen Trog T aus Eisen, Holz oder Zement, in welchem eine mit großer Geschwindigkeit (am Umfang 7—8 m-Sek.) laufende Messerwalze M rotiert. Der Trog ist durch eine Scheidewand s in zwei Hälften geteilt, und indem die Messerwalze zu nicht ganz einem Viertel ihres Umfangs in einem engen Einbau, dem Kropf K, rotiert, sucht sie das Material, das sich in großem Verdünnungszustand — nur 1—3 % Fasern in 99—97 % Wasser — befindet, zu heben und über den oberen Rand des Kropfes zu fördern. Die Messerung der Walze bildet schaufelartige Zwischenräume, in welchen die Stoffmasse vorwärtsbewegt wird. Hierbei taucht die Walze auf der einen Seite in das Niveau der Flüssigkeit ein und hebt letztere auf das höhere Niveau der oberen Kropfkante empor, so daß ein Gefälle entsteht, welches die Flüssigkeit um die Scheidewand herum wieder bis zur Eintauchstelle zieht. Hierdurch entsteht die Strömung im Holländer (vgl. die Pfeile in Abbildung 53), durch welche das Material von selbst immer wieder an die Mahlstelle gelangt, wobei die Flüssigkeit die Waschtrommel W passieren muß. Auf dem Wege befindet sich quer über dem Trogboden eine kanalartige Rinne, der Sandfang S, in der alle schwereren Körper, Sand usw., sich absetzen. Das eigentliche Mahlen des Papierstoffes zu ganz kurzen Faserfragmenten findet zwischen der Messerwalze in dem sogenannten Grundwerk G statt. Letzteres ist eine Platte mit eingesetzten oder eingefrästen messerartigen Erhöhungen, die sehr eng an die Messer der Walze zu stehen kommen. Beide Messersysteme bilden nur übereinanderliegende linealartige Schienen, die infolge der Kleinheit des freigelassenen Raumes den zwischenliegenden Stoff zusammendrücken und entweder rückwärts oder vorn abscheren. Hierbei reißen die Faserenden ab, und es ist nun

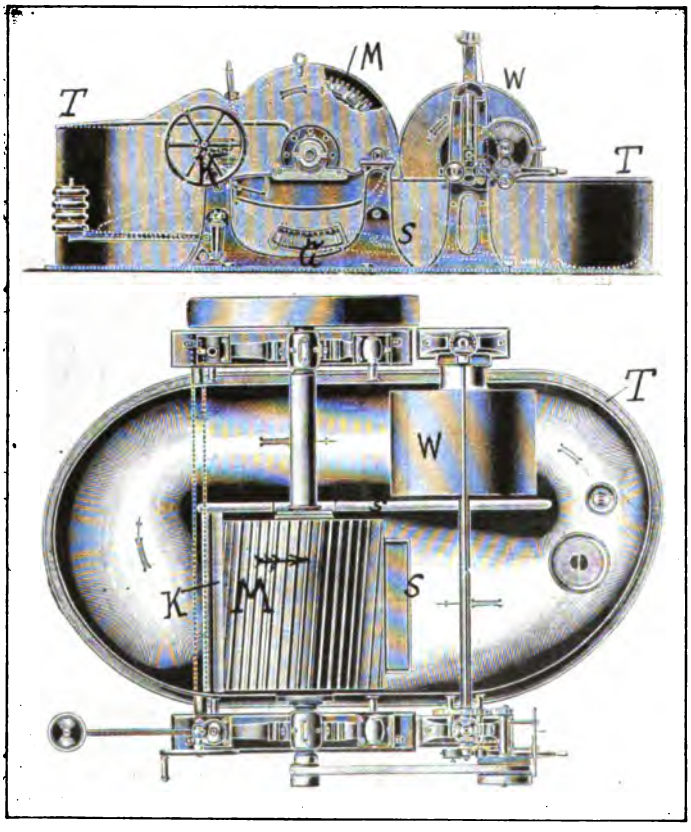


Abbildung 53. Holländer.

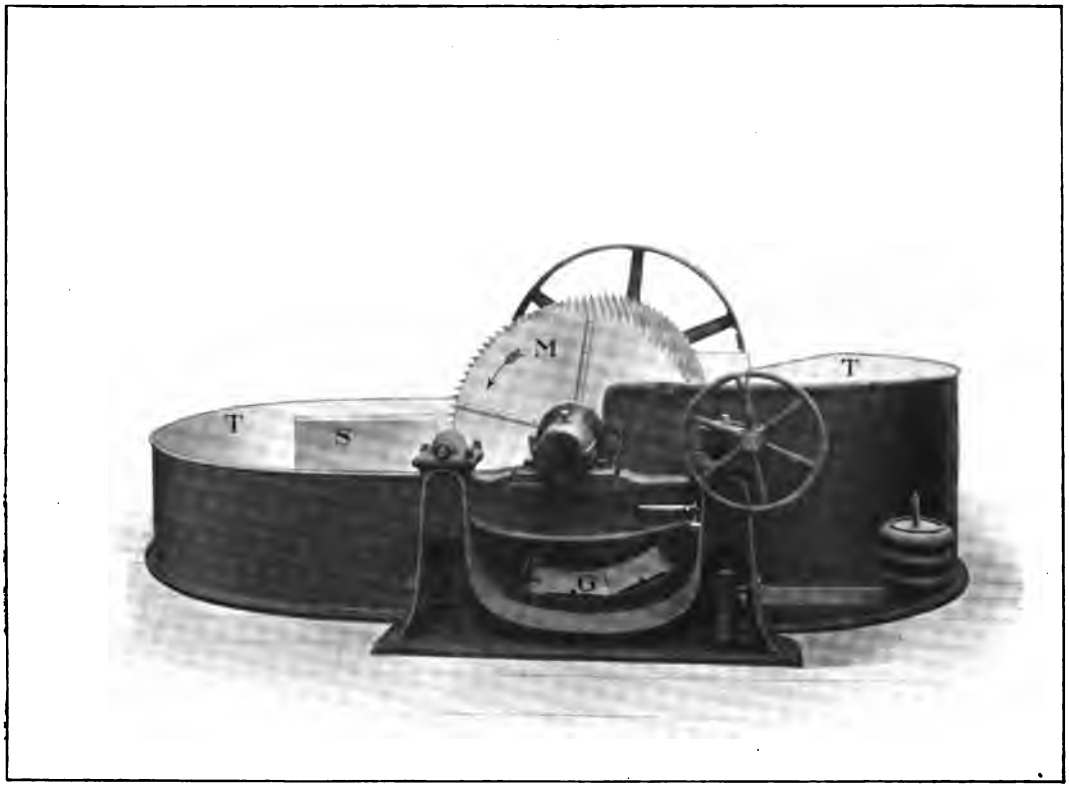


Abbildung 54. Holländer von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

sehr wichtig, daß diese Rißstellen nicht glatt, sondern zerfasert sind, weil letzteres die Verfilzung auf der Papiermaschine sehr fördert. Je höher der Druck ist, mit dem die Messer die Fasern zwischen sich pressen — und das ist der Fall, je weniger Fasern sich in der Raumeinheit befinden oder je dünner der Stoff angesetzt ist —, desto größer wird auch die Gefahr des scharfen Abtrennens sein. Man nennt den Stoff, welcher viele Fasern mit scharf getrennten Enden hat, rösch, den mit zerfaserten Enden nach dem Griff, den er besitzt, schmierig.

Statt des Holländers hat man auch andere Mahlvorrichtungen vorgeschlagen, doch ist ein nennenswerter Erfolg bis heute nicht zu verzeichnen. Das alte Stampfgeschirr lieferte vorzüglichen schmierigen Stoff, da die Faserenden zerdrückt wurden, doch war die Bewegung des Stoffes eine viel zu ungenügende. Dem Walzenholländer haftet der Übelstand an, daß die Messerung der Walze sich wegen der hohen Umfangsgeschwindigkeit, durch die das Material ausgeschleudert wird, für die Stoffförderung eigentlich nicht eignet. Die Verbesserungen, welche am Holländer angebracht werden, bewegten sich deshalb vornehmlich in Richtung einer verbesserten Stoffbewegung durch Einbau von besonderen Stoffantriebvorrichtungen (Stofftreiber). Als solche können Schaufelräder, Förderschnecken, Pumpen usw. wirken. Sogenannte Zwillingsholländer besitzen zwei Messerwalzen, die in einem gemeinsamen Trog in getrennten Mahlkanälen arbeiten und gute Wirkung ergeben sollen. Die sogenannten Stoffmühlen besitzen insofern eine grundsätzliche Abweichung vom alten Holländer, als sie mit Mahlflächen arbeiten, welche mit Messern besetzt sind.

Die Mahlung der Fasern wird mehrmals wiederholt. Die erste Mahlung gibt halbfertigen Stoff, Halbstoff oder Halbzeug (Halbzeugholländer). Der Ganzzeugholländer arbeitet ebenso wie seine Vorläufer. Fast alle Holländer sind mit Waschvorrichtungen versehen. Das Halbzeug wird auch oft als Halbfabrikat in den Handel gebracht.

Abbildung 57 zeigt eine moderne Holländeranlage von J. M. Voith. Die Voithschen Holländer werden mit besonders breiter Messerwalze ausgeführt, weil hierdurch der Mahleffekt gesteigert wird. Für die Leistungsfähigkeit L der Maschine läßt sich das

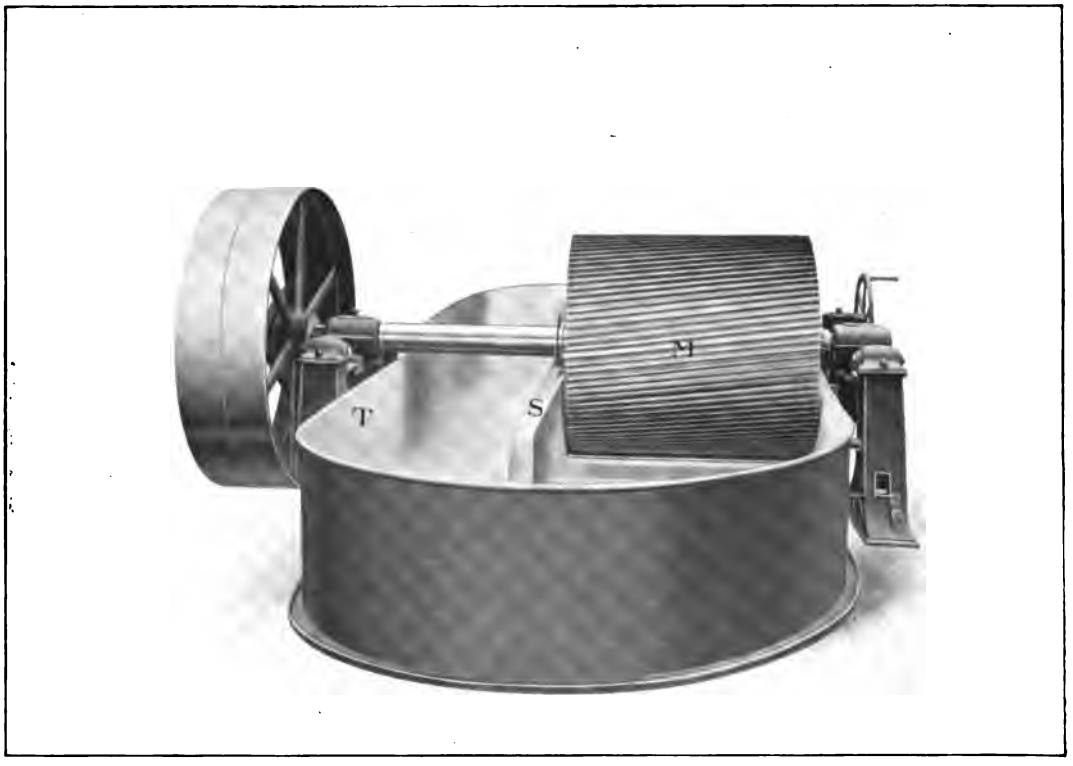


Abbildung 55. Holländer von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

Verhältnis zwischen Inhalt der Holländerkufe J und der Breite B des maßgebenden Arbeitsorgans, der Messerwalze, als Maßstab benutzen. Es ist

$$L = \frac{B}{J},$$

wonach die Leistungsfähigkeit zur Walzenbreite in direktem, zum Inhalt in verkehrtem Verhältnis steht. Ein großer Holländer mit 10 cbm Inhalt und 1,35 m Messerwalzenbreite hat somit

$$L = \frac{1{,}35}{10} = \underline{0{,}135},$$

während für einen kleinen Voithschen Holländer mit zwar nur 0,8 m Walzenbreite, aber auch nur 3 cbm Inhalt

$$L = \frac{0{,}8}{3} = \underline{0{,}266}$$

ist. Demnach leisten kleine Holländer viel mehr als große, was auch selbstverständlich erscheint, wenn man bedenkt, daß der kleine Inhalt in kurzem Kreisprozeß läuft und die Mahlstelle in rascherer Zeitfolge wiederholt passiert. Es ist dabei natürlich vorauszusetzen, daß der Klein- und Großvolumholländer gleiche Schnittzahlen und gleichen spezifischen Mahldruck haben, was durch die Bauart der Walze und des Grundwerkes unschwer erreichbar ist.

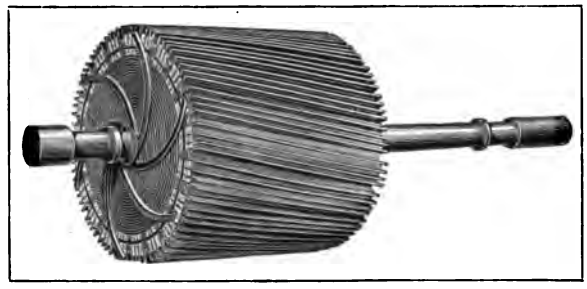


Abbildung 56. Holländerwalze mit schrägen Messern.

Die größere Leistungsfähigkeit der oben erwähnten Zwillingsholländer beruht im Grunde auch nur auf der bedeutenden Steigerung der wirksamen Gesamtschnittbreite der beiden Walzen in einem zum Großvolumholländer und dessen Schnittbreite verhältnismäßig kleinen Troginhalt.

Der Kropf ist für den Zug, den das Mahlgut annehmen muß, um rasch umzulaufen, sehr wichtig. Die Strömung wird um so besser sein, je stärker das Gefälle bzw. der Niveauunterschied zwischen Kropfkante und Einlauf ist. Je höher man also den Kropf hinaufführt, desto günstiger fallen die Strömungsverhältnisse aus. J. M. Voith führt deshalb den Kropf über das Walzenmittel empor und gibt dem Boden der aus einem Stück gegossenen Trogschale ein stark abfallendes Gefälle. Große Schnittzahl und große Stoffgeschwindigkeit steigern die Leistung, wobei die Erfahrungsgrenzen, die vom Stoff selbst gezogen werden, natürlich einzuhalten sind.

Nach Abbildung 56 kann die Walze, die meist mit achsparalleler Messerung ausgeführt wird, auch mit schrägliegender Messerung versehen werden. Die Messer bestehen aus Tiegelgußstahl oder aus Bronze und werden auf genauen Radius — ebenso wie das Grundwerk — geschliffen. Die Walze selbst ist ein Gußkörper auf

Abbildung 57. Holländeranlage. Gebaut von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

Stahlwelle. Das Grundwerk g muß zugänglich sein; in Abbildung 54 ist es nach Wegnahme eines seitlich an dem Trog befestigten Abschlußstückes freigelegt und zugänglich gemacht. Aus dieser Abbildung ist auch zu ersehen, daß zwei Grundwerke hintereinanderliegen, von welchen zum Beispiel eins herausgenommen und durch ein Holzfutter ersetzt werden kann, was für gewisse Zwecke — Herstellung „rösch"-gemahlenen Stoffes — empfehlenswert ist.

Über die Dimensionen und Leistungen moderner Holländer können die nachstehenden Voithschen Angaben hinreichenden Aufschluß geben.

Inhalt (Liter)	Eintrag bei einem Trockengehalt von			Walze			Grundwerk	Kraftverbrauch P. S.	Trog-	
									Länge	Breite
	5 % kg	6 % kg	7 % kg	Durchmesser mm	Breite mm	Messerzahl und Stärke	Messerzahl und Stärke		mm	mm
3000	150	180	210	1250	1000	72 Stück 7 mm dick	2 × 15 Stück 7 mm dick	12—20	3950	1900
6000	300	360	420	1800	1500	88 Stück 8 mm dick	2 × 15 Stück 5 mm dick	25—45	5500	2660
10000	500	600	700	2000	2000	100Stück 9 mm dick	2 × 20 Stück 5 mm dick	35—70	6400	3400

Im Halbzeugholländer findet zumeist gleichzeitig mit dem Mahlen — nur sind die Kufen dann gegen die Einflüsse der Chemikalien zu schützen — das Bleichen des Halbzeuges statt. Das geschieht, da es sich um vegetabile Fasern handelt, fast immer mit Chlor unter Anwendung von gelöstem Chlorkalk. Durch Säurezusatz sucht man das Freiwerden des Chlors zu beschleunigen. Die Bleichung erfolgt (vgl. Bd. I, S. 361) durch den freiwerdenden Sauerstoff und ist im wesentlichen eine Oxydation. Durch zu starke Chlorung entsteht Oxyzellulose, das ist ein mürber Stoff, der sich für die Weiterverarbeitung schlecht eignet. Die elektrische Bleiche besteht lediglich in der Herstellung der Bleichflotte auf elektrischem Wege — zum Beispiel aus Kochsalzlösung wird durch den elektrischen Strom Natriumhypochlorit als Bleichagens gewonnen. Mit dem eigentlichen Bleichvorgang hat die Elektrolyse in diesem Falle nichts zu tun.

Eine wesentliche Bedingung für die wirtschaftliche Gestaltung des Fabrikationsvorganges ist die richtige Mischung des Ganzzeuges. Nur mit Lumpenstoff zu arbeiten, ist heute nicht nur unrationell, sondern auch technisch mit Rücksicht auf das geringe verfügbare Quantum fast unmöglich. Für den erzielbaren Preis und für den Zweck, den das Fabrikat erfüllen soll, die richtige Mischung zu finden, ist somit eine wichtige Aufgabe des Papiertechnikers. Das Mischen erfolgt im Mischholländer, wobei alle Stoffe in verschiedenen Prozentsätzen vermengt werden können (Hadernstoff mit Holzschliff, Strohstoff, Virgofaser, Esparto, Zellulose). Moderne Papiere enthalten immer mehr oder weniger Zellulose. Man kann im Mischholländer nur mischen oder auch mahlen, oder man mischt unter gleichzeitigem Mahlen im Ganzzeugholländer.

Das Ganzzeug wird noch zwei wichtigen Veränderungen unterzogen, die für die richtige Beschaffenheit des fertigen Papiers unerläßlich sind: dem Füllen und Weißen

und dem Leimen. Beides erfolgt im Ganzzeugholländer. Das Füllen hat den wichtigen Zweck der Ausfüllung der zahlreichen zwischen den Fasern noch offenen Zwischenräume, durch welche die Glätte des Papiers leiden würde. Als Füllmaterialien werden weiße Pulver, Ton (Lenzin), Kaolin, Schwerspat verwendet, die dem Stoff eine schöne weiße Farbe verleihen. Damit ist die Aufgabe des Weißens zugleich erfüllt. Indessen hat das Papier trotzdem oft einen Stich in das Gelbliche, den man durch Beimengung kleiner Quantitäten blauer Farbe — daher Bläuen —, die komplementär wirkt, zu beheben sucht. Das Füllen beeinflußt die Festigkeit des Papiers ungünstig, namentlich wenn höhere Prozentsätze mit Rücksicht auf die Gewichtserhöhung eingebracht werden. Das Satinieren (Glänzendmachen durch Kalandern) wird durch Füllstoffe gefördert. Die Füllstoffe können durch Aschengehaltsbestimmungen ermittelt werden.

Noch wichtiger ist das Leimen, durch welches das Papier erst gebrauchsfähig wird. Das Leimen kann mit dem fertigen Papier durch Auftragen eines tierischen Leims auf die Oberfläche (daher Oberflächenleimung) erfolgen, wodurch die noch offenen Poren geschlossen und die infolge ihres Lumens saugungsfähigen Fasern abgedichtet werden, so daß Flüssigkeiten nicht mehr eintreten und das Papier zum Schreiben und Malen zu verwenden ist. Diese Oberflächenleimung hat indessen den Fehler, daß sie auf mechanischem Wege — sie ist sehr dünn — leicht entfernt (abgerieben, radiert) werden kann, worauf an der freiliegenden Stelle die Farbe oder Tinte fließt. Um den Fehler ganz zu beheben, leimt man im Stoff, d. h. der Leim wird im Holländer dem Ganzzeug beigemengt und durchdringt die ganze Masse. Die Substanz, welche man hierzu verwendet, besteht aus in Soda gekochtem Harz, wodurch eine Harzseife, der Papierleim, entsteht. Da das Harz der wichtige Bestandteil dieses Leimes ist, bezeichnet man das Verfahren als vegetabilische Leimung oder — weil sie im Ganzzeug erfolgt — als Stoffleimung. Dieser Harzleim wird dem Stoff mit Alaun und schwefelsaurer Tonerde zugesetzt, wobei sich schwefelsaures Natron bildet und das freie Harz die Fasern vollständig einhüllt und ihnen hierdurch ihre Saugungsfähigkeit nimmt. In vielen Fällen werden die harzgeleimten Papiere noch nachträglich an der Oberfläche geleimt (tierische Leimung), um sie noch besser widerstandsfähig zu machen.

Auch das Färben durchgefärbter Papiere erfolgt im Holländer. Die Oberflächenfärbung ist ein mit dem fertigen Papier durchgeführter Vollendungsprozeß, ebenso wie das örtliche Färben mit bestimmten Mustern (Tapeten usw.).

Die bisher vorgenommenen Operationen liefern den fertigen Ganzstoff für die eigentliche Papierbereitung. Außer den oben schon zusammengefaßten Vorarbeiten 1—6 ist alles unter dem Mahlen (7) zusammengefaßt worden. Die Reihenfolge wäre also für Weißpapier: Halbzeugmahlen — Bleichen — Ganzzeugmahlen — Mischen — Füllen und Weißen — Leimen. Die letzte Arbeit, die mit dem fertigen Ganzzeug vorgenommen wird, ist das Ansetzen in richtiger Verdünnung in der Stoffbütte oder Zeugbütte. Der Verdünnungsgrad hängt von der weiteren Verarbeitung ab, ist aber gewöhnlich sehr groß und bewegt sich zwischen 2 bis 4% in 98 bis 96% Wasser, in manchen Fällen ist der Zusatz aber auch größer. Wesentlich ist die Gleichartigkeit der Durchmischung, weshalb man in die Bütte mechanische Rührwerke einbaut, die das Ganzzeug ständig in Bewegung erhalten.

Die nun folgende Papierbereitung besteht im Entziehen des Wassers aus dem Papierbrei unter gleichzeitiger Bildung des Papierblattes durch Verfilzung der Fasern. Letztere wird durch Schüttelung erzielt, die man mit dem auf einem durchlässigen

Sieb aufgetragenen Brei vornimmt, so daß die mechanischen Stöße, die durch das Schütteln entstehen, gleichzeitig den Durchlauf des Wassers durch die Siebmaschen begünstigen und die Fasern ineinandertreiben, verfilzen.

Das Handpapier wird geschöpft (Abbildung 58). Man bedient sich hierbei eines Rahmens R mit aufgespanntem Drahtsieb s (Papierform), das von unten gegen Durchbiegung durch scharfkantige, den Abfluß nicht hindernde Latten i gestützt ist. Auf diesem Rahmen liegt oben ein zweiter von bestimmter Höhe, der Deckelrahmen oder kurzweg Deckel D genannt. Die Höhe des letzteren bestimmt die Dicke der geschöpften Breischicht, ist also maßgebend für die Stärke des schließlich erhaltenen Papierblattes. Der Arbeiter schiebt diesen Schöpfrahmen schräg abwärts in die Zeugmasse der Bütte, dreht ihn dann in horizontale Lage und hebt ihn senkrecht nach aufwärts aus, wobei er sofort Schüttelbewegungen nach allen Seiten ausführt. Das Drahtsieb läßt das Wasser natürlich um so rascher ablaufen, je weiter die Maschen sind. Hierin ist aber eine bestimmte Grenze einzuhalten, weil einerseits durch zu weite Maschen viel Papierstoff mit abläuft, was nicht bezweckt wird, anderseits aber der noch nasse Papierbogen sich in die Maschen zieht, wodurch die Oberfläche ein geripptes Aussehen erhält und nicht glatt ausfällt. Man nennt derartiges Papier gerippt und spricht von gerippten Formen (Postformen). Soll die Oberfläche vollständig glatt ausfallen, so muß ein sehr feines Sieb benutzt werden (Velinsieb oder -form, Velinpapier), das allerdings den Wasserablauf sehr verzögert. Wird die Regelmäßigkeit der Drahtsiebmaschen durch Figuren von irgendwelcher Form mittels Einsetzens dickerer Drahtpartien unterbrochen, so entsteht an der betreffenden Stelle durch Verdrängen des Fasermaterials eine dünnere Schichtendicke, die später durchscheinend (transparent) erscheint. Man bezeichnet diese Figuren als echte Wasserzeichen, zum Unterschied von den unechten, die dadurch entstehen, daß in das fertige Papier durch Einpressen Figuren gedrückt und durch gewaltsame Stoffverschiebung eine dünnere Stelle erzeugt wird.

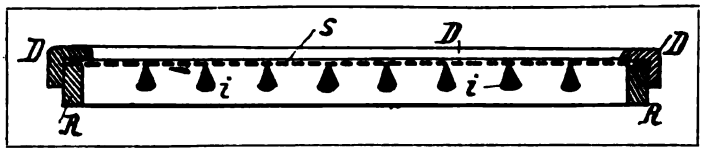


Abbildung 58. Handschöpfform.

Auch für die Handpapierbereitung ist eine Vorrichtung notwendig, welche es verhindert, daß knotige, dicke Anhäufungen, die die Gleichmäßigkeit des Papiers sehr schädigen würden, auf das Sieb gelangen. Man verwendet hierfür einen Knotenfang, der zwischen dem Zeugkasten und der eigentlichen Schöpfbütte eingeschaltet wird und dessen feinperforierter Siebkörper wohl die brauchbaren feingemahlenen Fasern, nicht aber die Knoten passieren läßt.

Der durch die Schüttelung verfilzte Papierbrei enthält noch beträchtliche Wassermengen, die durch das Sieb infolge ihrer Vermengung mit den Fasern, an denen sie adhärieren, nicht mehr ablaufen können. Von dem Schöpfer übernimmt sofort nach dem Abschütteln ein Gehilfe die Form, befreit sie vom Deckel und drückt sie mit dem Papierbogen nach unten auf einen Filz auf. Letzterer ist für diesen Zweck besonders hergestellt und besitzt große Saugungsfähigkeit, die zur Folge hat, daß sich das Blatt sofort ansaugt und auf dem Filz festklebt. Das Sieb kann dann ohne Schaden für den Bogen abgehoben und neuerdings verwendet werden. Auf den Bogen wird ein zweiter Filz gelegt, über den dann das nächste Blatt zu liegen kommt. Der Vorgang wird als Gautschen oder Kautschen bezeichnet und so lange fortgesetzt,

bis eine größere Zahl von Bogen (150—180) übereinandergegautscht ist (Pauscht) In diesem Zustande erfolgt dann das erste Pressen (Pressen im Filz), wozu Schraubenpressen oder hydraulische Pressen verwendet werden. Der Preßdruck wird langsam gesteigert und so weit getrieben, bis der Wasserabfluß aufhört. Nach dem Herausnehmen der Bogen aus den Filzen folgt dann entweder sofort das Trocknen oder zunächst ein wiederholtes Pressen (Pressen im weißen Pauscht). Das Trocknen in Kammern oder Trockenböden bezweckt schließlich die Entziehung des noch übrigen, auf mechanischem Wege nicht entfernbaren Wassers durch Verdunstung in die Feuchtigkeit rasch aufnehmender warmer Luft.

Die Arbeiten der Handpapierbereitung werden bei der Fabrikation des Maschinenpapiers nachzuahmen gesucht, und sind an einer Papiermaschine alle im Grunde so einfachen Vorrichtungen des Handpapiermachers in große Dimensionen übertragen und zu einem sehr umfangreichen Maschinenaggregat vereinigt: die Bütte mit der Mischvorrichtung, der Knotenfang, das Sieb mit der Schüttelvorrichtung, die Gautschwalze, die Naßpartie und der Trockenapparat. Im Grunde ist die Papiermaschine eine Kombination von mehreren Einzelmaschinen zu fortlaufendem selbsttätigem Arbeitsprozeß. Man unterscheidet zwei Formen von Papiermaschinen: die Langsiebmaschine und die Zylindersiebmaschine. Da die erste die wichtigere und auch hinsichtlich der auf ihr herstellbaren Papiersorten universellere ist, soll sie zunächst besprochen werden. (Vgl. Tafel Papiermaschine am Schluß des Bandes.)

Die Langsiebmaschine kann man sich in fünf Hauptteile zerlegt denken:

1. die Einführung F, bestehend aus der Zeugbütte mit Rührwerk und der Regulierungsvorrichtung für den Zufluß, dem Sandfang und dem Knotensichter oder Knotenfänger;

2. die Siebpartie (Form) L mit dem endlosen feinmaschigen Drahtsieb von ungefähr 8:10 m Länge für die vorbereitende mechanische Entwässerung und die Verfilzung der Fasern durch Querschüttelung;

3. die Naßpartie N für die fortschreitende mechanische Entwässerung durch Pressen zwischen Walzen (Naßpressen), wobei der Wassergehalt auf 40—50% herabgeht;

4. die Trockenpartie T für die Fertigtrocknung auf physikalischem Wege durch Anwendung von Wärme, die durch 15—25 Trockentrommeln, um welche die Papierbahn läuft, zugeführt wird;

5. die Abführung der fertigen Papierbahn mit den Nacharbeiten des Glättens (Kalanderns), Schneidens usw. und des Aufwickelns in Rollenform.

Um die Gesamteinrichtung einer Langsiebmaschine deutlich zu machen, ist auf der am Schluß des Bandes eingefügten Tafel eine von J. M. Voith in Heidenheim a. Brenz gebaute Maschine für 2,7 m beschnittener Papierbreite — die Breite kann aber bis 4 m und mehr gewählt werden — und einer Länge von rund 45 m, ausschließlich Bütte, Sandfang und Knotenfang, bzw. einer Gesamtlänge von rund 57,5 m mit der Vorbereitungs- und Zuführungseinrichtung wiedergegeben. In der Bütte A wird der Stoff in richtiger Konzentration angesetzt und durch Rührflügel f in gleichmäßiger Mischung erhalten. Mittels einer Stoffpumpe, deren Lieferungsquantum regulierbar ist — zum Beispiel durch Hubverstellung des Kolbens —, oder durch ein Schöpfrad oder einen Schwimmerregler gelangt der mit der entsprechenden Menge Verdünnungswasser — welchem auch das Abwasser des Siebes mit seinen Faserresten zugeführt werden kann — gemischte und verdünnte Stoff in den Sandfang B, das ist eine mit Gefälle versehene Holzrinne, die nach der Draufsicht 2:3 Kehren besitzt und in welche in der

Laufrichtung geneigte Querstege derart schräg eingebaut sind, daß schwerere Körper, wie Sand, Metallstückchen und ähnliches sich absetzen können. Ein Gabelkanal führt den Stoff hierauf in zwei Drehknotenfänger C, deren Aufgabe in dem Abfangen der dicken, weniger fein gemahlenen knotenartigen Teile des Breies besteht, um zu vermeiden, daß die Papierfläche ungleich ausfällt. Diese Knoten rühren in der Hauptsache von den gegen die Mahlung in den Holländern widerstandsfähigeren Teilen her. Man kennt zwei Hauptarten von Knotenfängern: Planknotenfänger und Drehknotenfänger. Bei beiden ist das Grundprinzip dasselbe: der Stoff wird gezwungen, sehr enge Schlitze (0,2—1,5 mm) in den Metallplatten zu passieren, wobei die Knoten zurückgehalten werden. Die Platten oder Trommeln erhalten eine Rüttelbewegung, um den Durchtritt zu beschleunigen; die Durchtrittsrichtung kann bei der ersten Gattung von oben nach unten oder umgekehrt sein, bei den Trommelsichtern wurde seither meist der Durchgang von innen nach außen bevorzugt, neuerdings wendet man jedoch auch die Passage von außen nach innen an und läßt schwingende perforierte Platten den Stoff mit 200—250 Schlägen per Minute gegen den Trommelmantel drängen, wodurch eine Beschleunigung der Sichtung eintritt. Die erhöhte Leistungsfähigkeit gestattet es dann, statt zwei nur einen Knotenfänger an die Papiermaschine anzubauen. J. M. Voith zum Beispiel gibt dem Zylinder (Abbildung 59) eine große Tauchtiefe bei einem Durchmesser von 1200 mm, so daß mehr als 70% der gesamten Mantelfläche — gegen 25—30% seither — ausgenutzt werden. Diese neueren Knotenfängerzylinder, deren Mantel aus Phosphorbronze besteht, brauchen keine Rüttelbewegung zu erhalten, worin ein großer Vorzug liegt, weil die Rüttelung die Lebensdauer des Apparates ungünstig beeinflußt. Die Zylindermulde erhält einen Sandfang mit Handablaß, der bei Druckpapieren den eingangs beschriebenen Zulaufsandfang ersetzen und für bessere Papiere eine entsprechend kleinere Ausführung des letzteren ermöglicht. Die Knoten werden durch ein Spritzrohr mit kräftiger Wirkung abgespült. Die Schwingplatten, welche die Stoffpulsationen hervorbringen, können stellbaren Hub erhalten. J. M. Voith baut diese Knotenfänger in vier verschiedenen Größen zwischen 900—1200 mm Durchmesser und 1,5—2,5 m Länge für eine Leistung von 5000—45000 kg in 24 Stunden.

Vom Knotenfänger C gelangt der sehr dünne Papierbrei zunächst behufs Erzielung gleichmäßiger Verteilung und ruhigen Auflaufes auf das Sieb in einen meist zweiteiligen Verteilungskasten K, der durch ein elastisches Verbindungsstück, das Siebleder, mit dem Sieb S verbunden ist.

Das Langsieb S ist horizontal oder in schwacher Neigung geführt und läuft am Eingang über die sogenannte Brustwalze B_1. In der Abbildung nimmt das Sieb S die Länge L ein und ist am Ende über die untere Gautschwalze G an die Brustwalze B zurückgeführt. Nach dem neueren amerikanischen Eibelverfahren erhält das Sieb Gefälle, das je nach Bedarf durch eine Stellvorrichtung geändert werden kann. Es liegt auf der Hand, daß der auflaufende Stoff und das vorwärtsbewegte Sieb gleiche Geschwindigkeit haben sollten, weil sonst der mit dem Sieb unmittelbar in Berührung gelangende Stoffteil eine andere Geschwindigkeit anzunehmen sucht als der in den oberen Schichten liegende. Dieser Übelstand wird um so mehr in die Erscheinung treten, eine je höhere Arbeits- bzw. Siebgeschwindigkeit man anwendet. Letztere kann man nun mit dem Eibelverfahren, bei welchem die Brustwalze B_1 bis zu 40 cm über die Gautschwalze gehoben werden kann, bis auf 180 m-Min. steigern, und man nimmt sogar an, daß 200 m-Min. für Druckpapier aus z. B. 20% Zellstoff, das übrige Schliff und Füllstoff, gut erreicht werden können. Für reine Zellstoff-

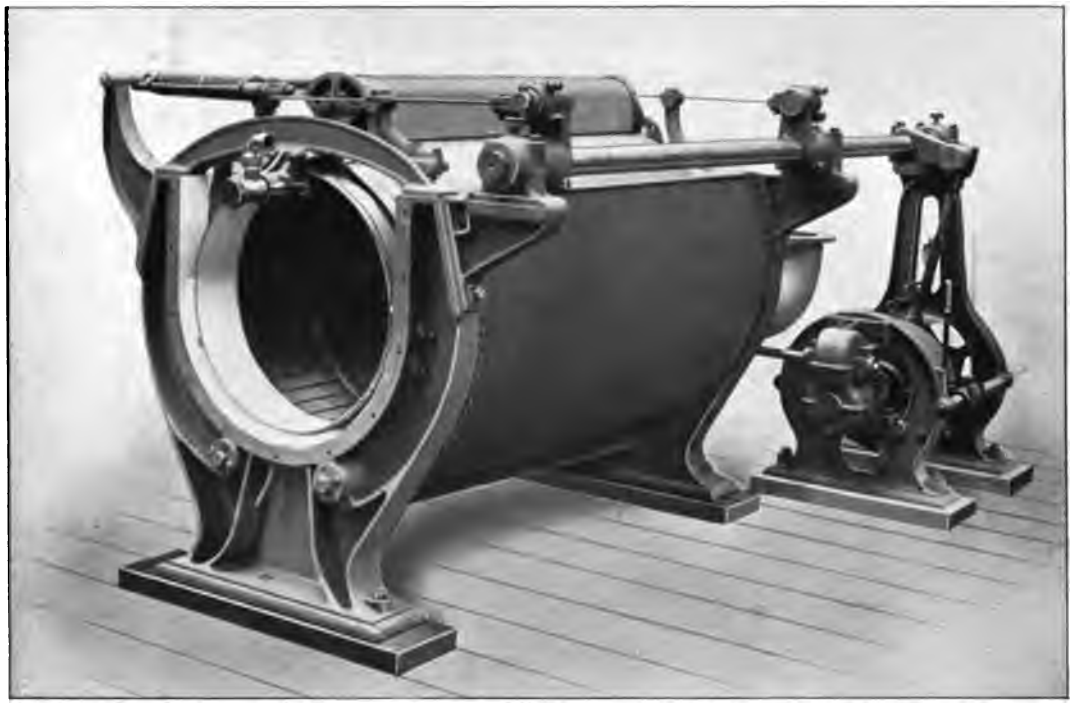


Abbildung 59. Drehknotenfänger. Gebaut von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

papiere soll das Verfahren bis 130 m-Min. gute Ergebnisse gehabt haben, im besonderen soll die Durchsicht des Papieres eine klare und wolkenfreie sein.

Das Langsieb ist durch eine große Zahl von Kupferwalzen r (Registerwalzen) gestützt, die anfangs enger liegen und später in größerwerdenden Abständen gelagert sind. Es geschieht das, damit das Wasser anfangs weniger rasch durch die Siebmaschen austritt und der Faserbrei zunächst noch weniger eindickt, die Fasern also beweglicher auf dem Siebe lagern. Letzteres erhält nämlich durch die Stützen, auf welchen der ganze Rahmen mit den Führungswalzen liegt, eine durch Exzenter bewirkte Schüttelbewegung in der Querrichtung, wodurch die Verfilzung des Fasermaterials erfolgt. Je beweglicher die Fasern hierbei noch nebeneinanderliegen, desto besser vollzieht sich der Verfilzungsvorgang. Ein Übelstand der Anordnung liegt ohne Zweifel in der Einseitigkeit der Schüttelrichtung quer zum Lauf der Papierbahn. Die Fasern werden hierdurch in der Querrichtung enger zusammengedrängt, und die Festigkeit des Papieres ist infolgedessen in der Längsrichtung größer als in der Querrichtung. Dieser Übelstand wird in seiner Wirkung um so ungünstiger sein, je weniger die Geschwindigkeit des Stoffes mit der des Siebes übereinstimmt, weil eben die mit der Siebfläche unmittelbar in Berührung kommenden Partien eine andere Geschwindigkeit anzunehmen suchen als die oberen Schichten, wodurch naturgemäß nicht nur die schon erwähnten Verschiebungen im Stoff eintreten — die wolkige Stellen erzeugen —, sondern die Schüttelung selbst kann sich ebenfalls nicht gleichmäßig über die in ungleichen Geschwindigkeiten bewegten Stoffschichten verteilen. Das Ausgleichgefälle des Eibelverfahrens bringt infolgedessen auch für die Verfilzung eine Besserung zustande.

Damit der Stoff auf dem Siebe seitlich gehalten ist und durch die Schüttelung nicht ausfließt, muß er durch eine dem Deckel der Handform entsprechende Rand-

leiste begrenzt werden. Man benutzt hierzu zwei sogenannte Deckelriemen — auf jeder Seite einen — aus Kautschuk von ungefähr 45×35 mm und einer Länge von 9—14 m (in der am Schluß des Bandes eingefügten Tafel 12,8 m). Diese Riemen werden vom Sieb geschleppt und laufen über Leitrollen.

Die Siebpartie läßt sich in zwei Unterabteilungen zerlegen:

1. die Registerpartie, für welche das Sieb auf den etwa 70—95 mm im Durchmesser messenden kupfernen Registerwalzen aufruht;

2. die Saugpartie mit den Saugkästen.

In der am Schluß des Bandes eingefügten Tafel ist die Registerpartie rund 5 m, die Saugpartie 2,6 m lang; die Gesamtsieblänge (Arbeits- und Rücklauf zusammen) beträgt in dieser Tafel rund 20 m. Das in der Siebpartie durch die Maschen des Siebes austretende Wasser läuft in die Siebwasserrinne ab und wird gewöhnlich, da naturgemäß auch Fasern mit austreten, in den Büttenstoff oder in besondere Behälter (Stoffänger) zurückgeleitet und wieder verwertet. Man verwendet hierzu Pumpen oder Schöpfräder.

Die Entwässerung durch die Siebpartie ist eine verhältnismäßig geringe und darf auch keine zu große sein, da in diesem Teil der Maschine durch die Schüttelung die Verfilzung im wesentlichen durchgeführt sein soll und letztere eine gewisse Beweglichkeit der Fasern, die ihnen nur bei entsprechender Verdünnung eigen ist, voraussetzt. In der Tat erkennt man an dem glänzenden, wässerigen Aussehen, den die Breioberfläche am Ende der Siebpartie noch hat, deutlich das Vorhandensein beträchtlicher Wassermengen. Da die Verfilzung in der Hauptsache nun vollzogen ist, bedarf es eines kräftigeren Mittels zur Ausscheidung des Wassers, als es bis hierher die durch die Maschensickerung wirksam gewordene Schwerkraft geboten hat. In der Saugpartie befinden sich unter dem Sieb mehrere Saugkästen E, die etwas breiter als das Sieb und mit Wasser, das durch irgendeine Vorrichtung regelmäßig abgesaugt wird, gefüllt sind. Für das Absaugen können verschiedene Vorrichtungen verwendet werden. Eine ältere Einrichtung besteht aus auf und ab bewegten Vakuumglocken; vielfach wird auch eine Saugwanne mit ständigem Abfluß angewendet, an größeren neueren Maschinen wiegt die Pumpenabsaugung vor. Durch das Absaugen des unter dem Sieb befindlichen Wassers entsteht ein Unterdruck von etwa 1/8 Atm., der zur Folge hat, daß der äußere Luftdruck das Wasser des Papierbreies nach unten durch die Siebmaschen auspreßt. Man erkennt die gesteigerte Entwässerung sofort an der weniger wasserglänzenden Oberfläche der Papierbahn, und die mehrmalige Wiederholung der Saugwirkung liefert schließlich eine weitere Entwässerung; die Papierbahn enthält jedoch noch immer beträchtliche Wassermengen und ist leicht zusammendrückbar und weich, so daß sie Formen, die man in sie eindrückt, ohne Schwierigkeit aufzunehmen vermag. Man benutzt dies, um echte Wasserzeichen mittels einer leichten, über dem Sieb liegenden und auf diesem abrollenden Siebwalze, des Egoutteurs, einzupressen. Diese Walze erhält an bestimmten Stellen, so daß sich das Zeichen innerhalb der Abwälzung eines Umfanges regelmäßig wiederholt, durch erhaben vorstehende Drähte ein Muster — z. B. eine Krone, einen Adler, ein Initial usw. —; die Bahn wird durch die Verdrängung des Stoffes an der betreffenden Stelle dünner und transparent, das Zeichen — Wasserzeichen, da das Papier noch hohen Wassergehalt besitzt — tritt also in durchfallendem Lichte mit verschwimmenden Konturen in die Erscheinung. Gewöhnlich ordnet man den Egoutteur hinter der ersten oder zweiten Saugwanne an, da der Stoff hier noch weicher und formbarer ist. Erhält der Egoutteur keine erhabenen Muster, sondern nur ein feines

glattes Velinsieb, so entsteht eine Papierbahn mit glatter Oberfläche (Velinpapier). Statt der Siebwalze kann auch ein endloses Obersieb angewendet werden.

Das innere Ende des Langsiebes ist um die untere Walze der Gautschpresse G geleitet und läuft über Führungs- und Spannwalzen an die Brustwalze B_1 zurück; die obere Gautschwalze drückt durch ihr Eigengewicht — oder sie ist durch Hebelübertragung besonders belastet — einen weiteren Teil des Wassers aus. Die Gautschwalzen sind mit Papiermacherfilz (Manchon) überzogen, damit das Sieb geschont wird, das unter der Pressung leiden würde, wenn nur zwei harte Walzenkörper die Pressung ausüben würden.

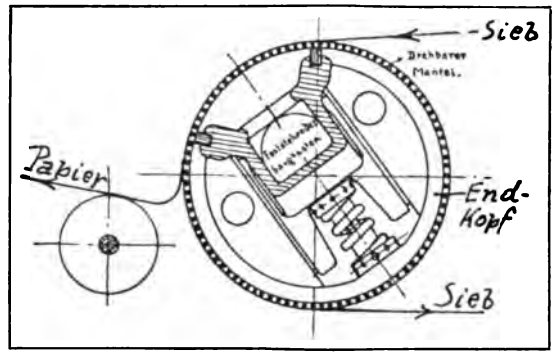


Abbildung 60. Millspaughwalze.

Die Saugkästen beanspruchen das Sieb in hohem Grade und sind die Hauptursache der verhältnismäßig kurzen Lebensdauer dieses teuren und für die Papierbildung unbedingt erforderlichen Betriebsmittels. Eine wesentliche Verbesserung auf dem Gebiete der Absaugevorrichtungen für die Papiermaschine scheint nach den bisher vorliegenden Erfahrungen die von dem Amerikaner William Millspaugh erfundene Saugwalze (Abbildung 60) zu sein. Die Walze besteht aus einem gelochten Metallmantel mit einem eingebauten Saugkasten, der aus Gußeisen hergestellt und mit den aus der Abbildung ersichtlichen Dichtungen mittels Federdrucks an den Mantel angepreßt ist. Diese Saugkammer ist in ihren Endköpfen radial einstellbar, so daß sie durch Drehung der letzteren in jeden Winkel zum Sieblauf eingeregelt werden kann. Der Walzenmantel dreht sich um den feststehenden Saugkasten herum und liegt zu diesem Zwecke in zwei Lagern mit Wasserkühlung (Bauart von J. M. Voith); er empfängt den Antrieb durch ein außen auf ihm befestigtes Stirnrad. Die Absaugung der Luft und des Wassers erfolgt an einer Seite mit Hilfe einer rotierenden Vakuumpumpe.

Die obere Gautschwalze wird durch diese Saugwalze entbehrlich; der Saugkasten ist durch den gelochten Mantel, der mit dem Langsieb läuft, zugedeckt, wodurch die schädlichen, das Sieb vorzeitig abnutzenden gleitenden Reibungen und die Stoßwirkungen an den Kanten der Saugkästen vermieden werden. Auch sonst dürfte diese Einrichtung mehrere Vorzüge besitzen, wie die, daß der Stoff infolge des Fehlens der oberen Gautschwalze weniger leicht verdrückt und gebrochen wird, und daß die Papierbahn trockener in die Naßpressen gelangt u. a. m.

Die Gautschpresse bildet den Übergang von der Sieb- zur Naßpartie. Nach dem Gautschen hat die Papierbahn immer noch 75—85% Wassergehalt, der durch die Pressen der Naßpartie auf 50% herabgebracht wird. Von der Gautschpresse läuft die Bahn, die nun schon hinreichende Konsistenz besitzt, ein Stück frei bis zum Filz der ersten Naßpresse. Die Naßpartie N arbeitet immer noch durch mechanische Auspressung des Wassers mittels Walzenpressen, wobei für den Transport der Papierbahn dicke und saugungsfähige Filze verwendet werden. Die Abbildung zeigt eine Langsiebmaschine mit drei Naßpressen (P_1, P_2, P_3). Die Wiederholung der Auspressung ist notwendig, da ein zu hoher einmaliger Druck schädigend wirkt. Die unteren Walzen sind von je einem Papiermacherfilz — in der Abbildung je 11 m lang — umspannt, die Oberwalzen wirken durch ihr Eigengewicht und werden neuer-

dings vielfach aus poliertem Stein (Granit) hergestellt und durch Schaber reingehalten. Die letzte Nasspresse P_3 der Abbildung zeigt einen nach oben umgeleiteten Naßfilz (Steigfilz). Die Papierbahnen werden in der Naßpresse auch gewendet, damit der gleichmäßigeren Wirkung wegen beide Seiten mit dem Filz in Berührung gelangen; auch Oberfilze werden zu diesem Zweck angewendet.

Die Trockenpartie entfernt die noch immer beträchtlichen Wasserreste bis auf geringe, für das Feuchtglätten des Papiers notwendige Teile durch Wärme, wobei die Papierbahn in steten Wendungen abwechselnd mit beiden Seiten um die Mantelflächen hohler, mit Dampf geheizter Kupferzylinder t geführt wird. In der Abbildung sind einige zwanzig solcher Zylinder enthalten. Mehrere mitlaufende Filze (Trockenfilze) drücken die Papierbahn faltenlos an die Trommelmäntel an und gehen im Rücklauf selbst über Trockentrommeln, die ihnen die aufgenommene Feuchtigkeit wieder entziehen. Eine rasche Trocknung durch hohe Temperaturen ist unzulässig, weil die plötzliche Verdunstung des Wassers zu starken Schrumpfungen innerhalb der Papierbahn führt, auch kann infolge Dampfbildung ein Auseinandertreiben der Fasern entstehen. In der Abbildung haben die Trommeln einen Durchmesser von 1,25 m; die Dampfzufuhr und die Ableitung des Kondensats erfolgt durch die hohlen Trommelzapfen. Im übrigen sind die Trommeln mit Reduzier- und Sicherheitsventilen sowie mit Dampfabscheidern usw. ausgerüstet. Durch die große Anzahl einzelner Trockenelemente (Trommeln) ist es möglich, die Trocknung langsam und für die Papierbahn sukzessiv und schonend zu vollziehen. Immerhin liegen auch Vorschläge vor, die unmittelbare Berührung der heißen Metallflächen zu vermeiden und das Papier — gewissermaßen durch eine Luftschicht getrennt — um die Heizflächen herumzuführen. In dieser Hinsicht kann auch auf die neuerdings an den Plättmaschinen (Lisseusen) der Kammgarnspinnerei in Aufnahme gelangten Trocken- und Plättezylinder verwiesen werden, die aus hohlen Kupferwalzen bestehen, die um feststehende hohle Heizzylinder aus Eisen rotieren, wobei zwischen beiden eine Luftschicht liegt. Der Wärmeverbrauch durch die Trockenpartie ist ein sehr großer. Nach Pfarr (Wochenblatt für Papierfabrikation, Juni 1910) brauchen 12 Zylinder stündlich 40 kg Dampf, wobei allerdings die an den umgebenden Raum abgegebenen Wärmemengen die Absorption der entwickelten Feuchtigkeitsmengen wesentlich unterstützen. Die Bildung von Tropfwasser über der Papierbahn ist wegen der erheblichen Gefahr der Schädigung des Papieres unbedingt zu vermeiden. Es werden deshalb Dunstschläuche und ähnliche Einrichtungen für den raschen Abzug der Wasserdämpfe verwendet. Physikalisch am richtigsten ist aber jedenfalls die Einrichtung, bei welcher über der Maschine sehr warme Luftmengen, die eine große Feuchtigkeitskapazität besitzen, eingeführt werden, so daß eine Kondensation des Wasserdampfes überhaupt nicht — auch an der Decke nicht, weil sie warm gehalten wird — auftreten kann.

Das Papier auf absolute Trockenheit zu bringen, wäre ein Fehler. Die Trocknung bewirkt vermutlich ein Schrumpfen des Harzes der Leimung, und wie bei jeder Trocknung eines aus Einzelelementen zusammengesetzten Körpers entsteht auch beim Papier eine innere Verschiebung, die Fasern bewegen sich und richten sich auf. Der Fehler wird natürlich um so größer, je rascher und schonungsloser der Prozeß vor sich geht. Deshalb muß einerseits langsam getrocknet werden, anderseits ist aber dafür Sorge zu tragen, daß die Veränderungen, die unvermeidlich sind, nachträglich wieder behoben werden. Durch das Aufrichten der Fasern ist die Oberfläche der getrockneten Papierbahn gewöhnlich rauh geworden. Man befeuchtet deshalb die Bahn

etwas — oder entzieht ihr nicht die ganze Feuchtigkeit — und läßt sie hinter der Trockenpartie durch ein Feuchtglättwerk laufen. Das sind gewöhnlich zweiwalzige Pressen (in der Abbildung F_1 und F_2), hinter welchen die Bahn dann nochmals Trockenzylinder passiert.

Die Nacharbeiten, welche mit dem fertigen Papier vorgenommen werden, bestehen in dem Trockenglätten, das gewöhnlich schon auf der Papiermaschine durch ein Satinierwerk (Kalander) erfolgt. In der Abbildung ist das Trockenglättwerk mit K_1 bezeichnet. Es besteht aus mehreren durch Schraubenpressen aufeinandergedrückten Walzen, welche aus Hartguß hergestellt sind. Diese Walzen drücken unter hoher Pressung die Fasern nieder und in die Papieroberfläche ein, wodurch letztere glatt wird. Soll eine besondere Glättung erfolgen, so gibt man den Walzen — wie in der Appretur von Geweben — verschiedene Umfangsgeschwindigkeiten und läßt sie auf das Papier durch Reibung eine glättende (friktionierende) Wirkung ausüben. Kalander mit einfacher Druckglättung sind Rollkalander, die mit Reibungswirkung Friktionskalander. Das Trockenglättwerk ist in der Abbildung unmittelbar an die Trockenpartie angeschlossen, vielfach bildet es aber eine eigene Maschine; namentlich für mehrmalige Satinierung müssen besondere Glättkalander angewendet werden. Da die Papierbahn durch die Satinage warm wird — für Friktionskalandrierung gilt das besonders —, läßt man sie nachträglich oft über Kühlzylinder laufen, die Wasser aus einem Trog aufnehmen; hierauf muß dann wieder getrocknet werden. Abbildung 61 und 61a zeigen die Schaubilder von Langsiebmaschinen von J. M. Voith für rund 3000 mm Siebbreite von der Siebpartie ab.

Die letzte Arbeit, welche die Papiermaschine vornimmt, gleichviel ob sie mit einem Trockenglättwerk verbunden ist oder nicht, ist das Zerschneiden und Aufwickeln. Die modernen Langsiebmaschinen liefern gewöhnlich eine Bahnbreite, die zu groß ist, um unmittelbar verwertet werden zu können. Man läßt deshalb die Bahn durch Schneidewerke, die aus kreisförmigen rotierenden Messern (Schneidtellern) bestehen, in so viele Einzelbahnen zerlegen, als der besondere Fall erfordert. Diese Einzelbahnen werden dann auf einem in der Abbildung mit W bezeichneten Wickelständer in Rollenform aufgewickelt.

Die Querschneidevorrichtungen werden verwendet, um aus der endlosen Papierbahn Bogen zu schneiden, doch eignen sich diese Vorrichtungen besser für besondere Schneidemaschinen, bei welchen die Papierbahn nicht kontinuierlich weiterläuft, sondern periodisch vorwärtsgeführt wird.

Die Zylinderpapiermaschine (Abbildung 62) besitzt statt des Langsiebes eine zylindrische Siebtrommel S, die in einer Stoffkufe, der der Stoff aus der Bütte bzw. durch den Sandfang und über die Knotenfänger ununterbrochen zuläuft, langsam rotiert. Das Wasser dringt durch die Maschen des Siebes in das Trommelinnere und wird von hier durch eine Pumpe abgesogen. Der hieraus entstehende konstante geringe Druckunterschied zwischen dem Inneren und der Außenseite bewirkt, daß sich die Fasernschicht an den Zylindermantel legt und bei a mit emporgeführt wird. Das Abnehmen erfolgt wieder nach demselben Grundsatz wie bei dem Handgautschen. Ein dicker Papiermacherfilz F wird an ungefähr der höchsten Stelle der Trommel durch eine Art Gautschwalze W an die Stoffschicht geführt und saugt sofort Flüssigkeit an, wodurch sich auch die Papierschicht auf dem Filz festsaugt und mit ihm weiterläuft. Es folgen dann im Arbeitsprozeß einige Naßpressen und schließlich die Trockenpartie und der Haspel für die Aufwicklung. Die Maschine besitzt den großen Fehler, das ihr die Rüttelung und somit auch die gute Verfilzung des Materials fehlt. Man kann

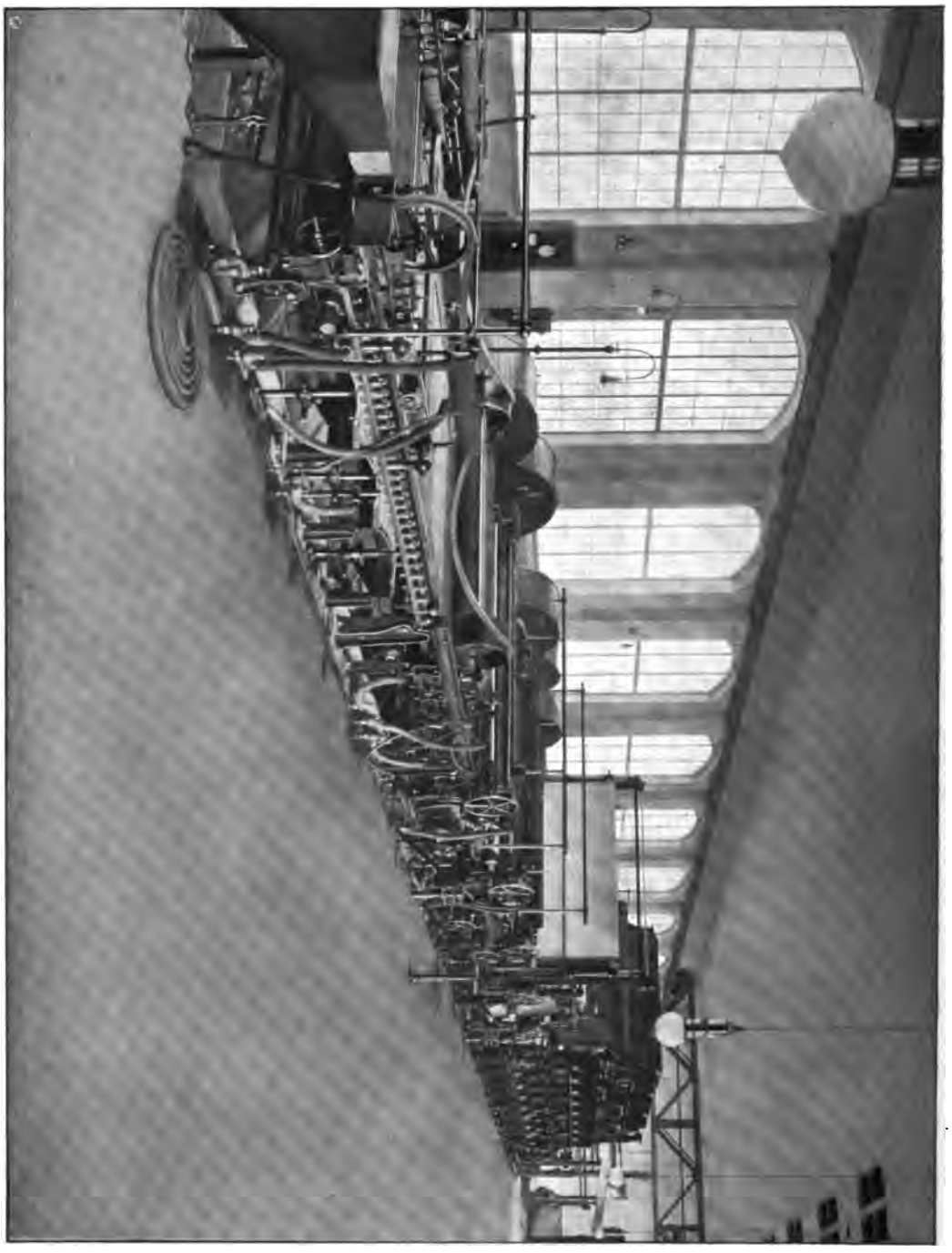


Abbildung 61. Langsiebpapiermaschine, Siebseite. Gebaut von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

sie in dieser ihrer einfachsten Form indessen gut für die Anfertigung grober Pappen verwenden, wenn die Aufwicklung der einzelnen Schicht in nassem Zustande erfolgt, so daß eine Dublierung entsteht. Die Pappe erreicht nach Übereinanderwicklung einer bestimmten Schichtenzahl eine bestimmte Dicke, die durch ein von der Touren-

Abbildung 61 a. Langsiebpapiermaschine, Aufwickelseite. Gebaut von J. M. Voith, Heidenheim a. d. Brenz.

zahl der Wickelwalze abhängiges Zählwerk mittels Glocke angegeben wird, worauf man die Pappe durchschneidet und als Formatdeckel erhält, der sofort getrocknet wird.

Ein gleichmäßiges Fabrikat kann auf diesem Wege nicht erzielt werden, und auch die Festigkeit läßt viel zu wünschen übrig. Viel besser fällt das Erzeugnis aus,

wenn man mehrere — zum Beispiel zwei bis drei — derartige Zylindersiebe (wie in Abbildung 62) in gesonderten Trögen (T und T_1) hintereinander anordnet und die Papierbahnen auf demselben Filz F übereinandergautscht oder dubliert, wodurch sich eine wesentliche Vergleichmäßigung erzielen läßt. Auch derartige Maschinen erhalten mehrere Naßpressen und eine Trockenpartie. Durch teilweise Zulegung eines Teils des Zylindermantels mittels Blechs, Wachstuchs oder ähnlicher Abdichtungsmaterialien kann die Zylinderformmaschine auch zum Bogenschöpfen verwendet werden. Auch das Anbringen von Wasserzeichendessins, die sich natürlich in regelmäßigen Intervallen in der Bahn wiederholen, ist ohne Schwierigkeit durchführbar. Man kann in dieser Weise mit der Zylindermaschine handgeschöpftes Papier täuschend nachahmen; doch ist dies Fabrikat naturgemäß minderwertig. Läßt man eine Dubliermaschine von zum Beispiel zwei Zylindern mit gefärbtem Stoff laufen und gibt in die Kufen verschiedene Farben, die dann aufeinandergegautscht werden, so entsteht Papier, dessen beide Seiten verschiedenfarbig ausfallen. Auch wirkliche Bogenformmaschinen, welche die Tätigkeit des Handschöpfens in allen Teilen nachahmen, sind gebaut worden. Sie liefern zwar ein gutes Fabrikat, sind aber nicht leistungsfähig und konnten keine Verbreitung finden (vgl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1886, S. 772).

Zu den Vollendungsarbeiten, die in der modernen Papierfabrikation größte Bedeutung erlangt haben, gehört schließlich das Streichen der Papiere. Auf besonderen, den Appreturmaschinen der Weberei nicht unähnlichen Maschinen wird eine sehr dünne Schicht eines Präparats (welches aus mineralischen Stoffen wie Porzellanerde, Blanc fixe usw. zusammengesetzt ist, die durch Kasein oder tierischen Leim gebunden werden), aufgetragen und durch Bürstenapparate gleichmäßig verstrichen. Eine Trocknung in bewegter Luft folgt unmittelbar darauf. Diese Streich- oder Kunstdruckpapiere haben die bemerkenswerte Eigenschaft, daß der Druck nicht mehr auf der Faserfläche des Papieres, sondern auf der vollständig gleichmäßigen Streichschicht erfolgt, deren Oberfläche die feinsten Linien und Abstufungen in der Schattierung ohne Flecken und Lücken aufnimmt. Das beste satinierte Papier wird immer noch eine gewisse Rauhigkeit besitzen, die beim Streichpapier ausgeschlossen ist. Daher eignen sich diese Papiere vorzüglich für den Druck von Kunstwerken, sehr feinen technischen Zeichnungen usw.

Welche Bedeutung der Entwicklung des Papiermaschinenbaues in kultureller Hinsicht innewohnt, ist auch aus den Geschwindigkeitsverhältnissen zu entnehmen, die ehedem und heute anzutreffen sind. Vor 70—80 Jahren lieferte eine Maschine eine Bahn von 1,5 m Breite bis etwa 12—20 m minutlich. Jetzt werden die Maschinen mit 3—4 m Bahnbreite gebaut und 120—150 m Minutenlieferung, und man nimmt an, daß mit dem Eibelverfahren bis 180 und sogar 200 m in der Minute geliefert werden können. Allerdings gilt das nicht für erstklassige, sondern nur für Massenpapiere. Die Gewichtsproduktion betrug zu jener Zeit rund 900—1000 kg täglich in 24stündigem Arbeitsgang; sie kann heute bei Massenpapieren bis 20000 kg gesteigert werden.

Die Arbeitszeit ist in der Papierindustrie durchgehends auf Tag und Nacht ausgedehnt, weil der Lauf der Papierbahn sich nicht ohne größeren Schaden unterbrechen läßt. Dagegen wird angestrebt, gewisse Arbeiten, die sich ohne Schwierigkeit nur am Tage bewerkstelligen lassen — z. B. das Kalandern und Satinieren — vom Nachtbetrieb abzutrennen.

Bemerkenswert ist auch die neuere Verwertung des Papiers für Textilzwecke. Wenn man über das Sieb einer Langsiebmaschine ein Spritzrohr legt, dessen Spritzöffnungen in bestimmten Abständen angebracht sind — durch Wechselung des Rohrs

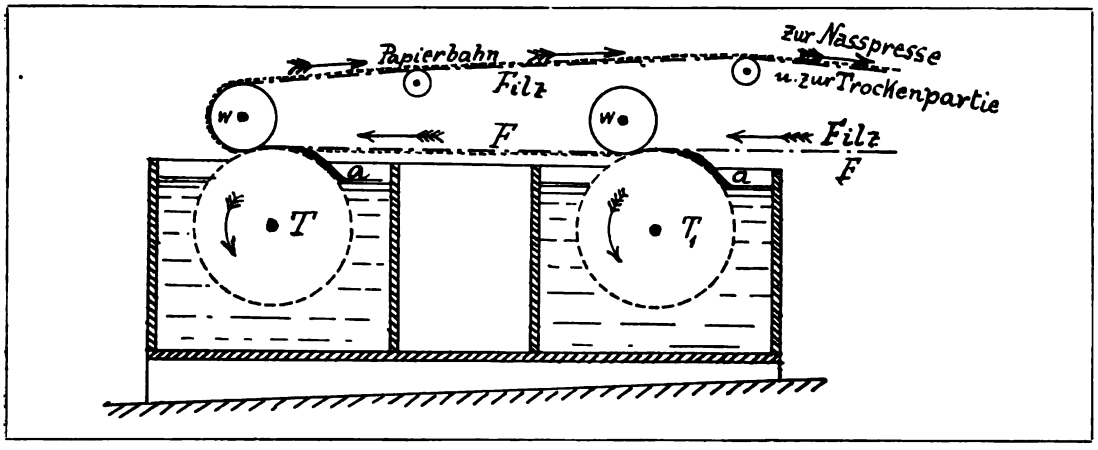


Abbildung 62. Zylinderpapiermaschine.

kann die Abstandgröße geändert werden — und das Wasser mit etwa 2—2 1/2 Atm. austreten läßt, so pressen die feinen Wasserstrahlen die Papiermasse an der betreffenden Stelle durch das Sieb durch, und es entstehen viele schmale bänddhenartige Streifen, die in gewöhnlicher Weise naßgepreßt, getrocknet und aufgerollt werden. Diese Streifenröllchen werden dann auf Spinnstühle gebracht, die die Papierbänder mittels Flügelspindeln zu Fäden zusammendrehen (Papierstoffgarne). Nach einem anderen Verfahren werden Zylindermaschinen mit am Umfang durch Lötung gebildeten Siebstreifen verwendet, nur ist in diesem Falle die Änderung der Breite der Papierstreifen insofern erschwert, als jedesmal der ganze Zylinder ausgewechselt werden muß. Auch wird nach einem Verfahren (Claviez) mit Vorteil ein Baumwollgespinst in den Papierstreifen eingedreht, wodurch das Gespinst haltbarer und geschmeidiger ausfällt.

Die aus Papiergespinsten (Xylolingarne, Sylvalingarne, Lycellagarne usw.) hergestellten Gewebe enthalten nur im Schuß das Surrogat, die Kette besteht aus Baumwolle oder Leinen. Die erzielten Effekte sind sehr schön und mannigfaltig (Wandbehang- und Besatzstoffe, Litzen, Tressen, Schnüre, Posamentwaren, Läuferstoffe und Teppiche usw.).

Die Papiersorten sind nach dem Verwendungszweck sehr mannigfaltige. Nach Hoyer (Mechanische Technologie, vgl. oben) können folgende Hauptgattungen unterschieden werden:

1. Lösch-, Schrenz- und Packpapiere. a) Lösch- und Fließpapiere (ungeleimt und saugungsfähig), grau, weiß, rot; b) Schrenzpapier, Packpapier in kleinerem Format und dünn; c) Packpapier, halbgeleimt und geleimt [rotes (aus roten Strazzen), braunes (aus Stricken usw.), gelbes (aus Stroh und Lumpen), blaues (gefärbt mit Blauholz oder aus blauen Lumpen)].

2. Druckpapiere (weiß, ungeleimt und geleimt). a) Buchdruckpapier (für Konzeptdruck schlechteste Sorte; für Kanzleidruck Mittelsorte; für Postdruck feinere Sorte, auch gerippt; Velindruckpapier, verschieden fein); b) Notendruckpapier (besonders dick); c) Kupferdruckpapier (dick, ungeleimt); d) Gold- oder Seidenpapier (sehr dünn, in verschiedener Feinheit).

3. Schreib- und Zeichenpapiere (weiß und geleimt). a) Schreibpapier (gerippt und Velin); hierher gehören: Konzeptpapier (geringste Gattung); Kanzleipapier (fein

und mittelfein); Postpapier (fein und sehr fein, namentlich auch Briefpapiere); Velinschreibpapier (die feineren Gattungen sind die Velinpostpapiere, die gröberen Velinkonzept); b) Notenpapier; c) Zeichenpapier; d) Tapetenpapiere.

(Über die Einteilung der Papiersorten vgl. auch die unten folgende Zusammenstellung der Ein- und Ausfuhrziffern.)

Diese Zusammenstellung ließe sich natürlich noch wesentlich ergänzen, da infolge der Zunahme der Surrogatstoffe die Zahl der Gattungen bedeutend gestiegen ist. Vor allem sind die Kunstdruckpapiere als besondere Qualität, wie schon bemerkt, noch hervorzuheben, desgleichen die in sehr verschiedenen Abarten erzeugten photographischen Papiere.

Die Papierindustrie wird in Deutschland durch mehrere Körperschaften und industrielle Vereinigungen vertreten, so in erster Linie vom „Verein Deutscher Papier-Fabrikanten", dem „Verein deutscher Holzstoff-Fabrikanten" und dem „Verein deutscher Zellstoff-Fabrikanten". Mit der Hauptversammlung, welche der „Verein deutscher Papier-Fabrikanten" jährlich abhält, werden auch die Sitzungen der Papiermacher-Berufsgenossenschaft verbunden. Im Jahre 1910 feierte letztere ihr fünfundzwanzigjähriges Jubiläum, aus welchem Anlaß Direktor Meesmann im „Wochenblatt für Papierfabrikation" (Juniheft 1910) über die Bedeutung und Entwicklung der einzelnen Gewerbezweige für die letzten zwölf Jahre folgende Angaben veröffentlichte:

	1897			1909		
	Betriebe	Versicherte Personen (Vollarbeiter)	Lohnsumme	Betriebe	Versicherte Personen (Vollarbeiter)	Lohnsumme
Strohstoffabriken	27	1130	926000	19	1277	1308000
Papierfabriken	488	38026	24421000	493	50175	43033000
Pappenfabriken	431	8002	4548000	430	8835	6542000
Holzschleifereien	520	6591	4374000	610	9731	7868000
Zellulosefabriken	62	8569	6542000	63	13401	13904000
	1528	62318	40811000	1615	83419	72655000
Steigerung gegen 1897 in %				5,1 %	33,8 %	78 %

Über die Ein- und Ausfuhr Deutschlands von Papier, Pappe und Halbstoffen usw. zur Papierfabrikation in den Monaten Juli bzw. Januar-Juli des Jahres 1910 gibt folgende Zusammenstellung (in Doppelzentnern) Auskunft, die dem Juliheft der „Monatlichen Nachweise über den auswärtigen Handel Deutschlands", herausgegeben vom Kaiserlichen Statistischen Amt, entstammt:

Warengattung	Einfuhr Juli 1910	Ausfuhr Juli 1910	Einfuhr Januar-Juli 1910	Ausfuhr Januar-Juli 1910
Papierlumpen, alle zur Papierbereitung dienenden Abfälle .	41596	57548	272675	371923
Halbzeug aus Abfällen von Gespinstwaren oder dergleichen .	125	560	214	2291
Holzmasse (mechanisch bereiteter Holzstoff, Holzschliff) . .	6723	4225	18689	33775
Chemisch bereiteter Holzstoff (Zellstoff); Stroh-, Esparto- und anderer Faserstoff	30840	140971	177369	984272
Glanzpappe (Preßspan) und andere hochgeglättete Pappe, Kunstlederpappe sowie andere feine Pappen	147	808	619	5961
Pappen aus Holzstoff, Stroh-, Schrenz-, Torfpappe und andere nicht genannte grobe Pappen	16077	19367	102060	116214

Warengattung	Einfuhr Juli 1910	Ausfuhr Juli 1910	Einfuhr Januar-Juli 1910	Ausfuhr Januar-Juli 1910
Dachpappen, Röhren aus Dachpappe; Steinpappe; Schiffsfilz	952	9815	6580	64987
Pappen, weiß oder farbig gestrichen, mit Papier beklebt; Malerpappe	5	—	105	—
Pappen aller Art, auch Malerpappe	—	2874	—	18727
Gelbes Strohpapier; ganz grobes graues Löschpapier	12	1427	35	7890
Packpapier, in der Masse gefärbt	1161	35176	10478	228419
Druckpapier, ungefärbt oder in der Masse gefärbt	711	57513	3664	374615
Karton- (Karten-) Papier, ohne Zeichenkartonpapier	28	10758	148	66255
Löschpapier, weißes usw., Filtrier-, Seidenpapier	1599	3976	9831	25505
Packpapier aller Art, vorstehend nicht genannt, Seidenpapier über 30 g auf 1 qm	2708	28067	17655	170441
Pergamentpapier	657	3805	3922	23196
Schreib-, Brief-, Bütten-, Notenpapier	371	12461	2426	78231
Zeichen-, Zeichenkartonpapier	129	1119	1069	8193
Anderes Papier (Etikettenpapier, Peltinaleder, Filz-, Tapetenpapier usw.)	447	4433	3224	28086
Buntpapier; lackiertes Papier; überstrichenes, überzogenes Papier	55	16268	1025	102431
Mit Metalldruck, Metallüberzug, Gold- oder Silberschnitt versehenes Papier	11	580	109	3210
Tapeten, Tapetenborten aus Papier	118	6188	1756	87857
Schieferpapier, Tafeln daraus, ohne Verbindung; Schleif-, Polierpapier	266	2211	1611	13421
Photographisches Rohpapier	15	56	83	273
Lichtempfindliches (gebrauchsfertiges) photographisches Papier	77	979	593	5781
Briefpapier, Briefkarten und Briefumschläge in Behältnissen (Papierausstattung)	279	641	1194	2913
Waren aus Papier, Pappe, Steinpappe, Holzmasse, Zellstoff usw.	204	2611	1241	11373
Waren mit Metallüberzug oder Metalldruck sowie fein bemalte Waren	1	58	26	284
Papierspäne; Altpapier; Einstampfpapier; entwertete Briefmarken	15676	9752	123269	51939
Papier, Pappe und Waren daraus (unvollständig angemeldet)	—	742	—	4351
Papier, beschriebenes, bedrucktes	396	1941	2430	14023
Holz zu Holzmasse, Holzschliff, Zellstoff	1075999	31086	4816245	147206
Maschinen für Holzstoff- und Papierherstellung	558	6919	1215	42662

Für das Bildungswesen in der Papiertechnik ist seit kurzem vom „Verein deutscher Papier-Fabrikanten" Sorge getragen worden. So entstand auf seine Veranlassung an der Technischen Hochschule in Darmstadt eine besondere Einrichtung für die Ausbildung von Papiertechnikern, ebenso werden an dem Polytechnikum zu Köthen und am Technikum Altenburg Papiermacherkurse abgehalten. Der Verein hat für seine Papiertechniker besondere Prüfungsbestimmungen (Verbandsexamen) aufgestellt, in welchen die Bedürfnisse der Industrie nach der praktischen und wissenschaftlichen Seite ihren Ausdruck finden.

Für die Papierprüfung besteht eine mustergültige Einrichtung am Kgl. Materialprüfungsamt der Kgl. Techn. Hochschule Charlottenburg in Groß-Lichterfelde bei Berlin. Der Papierprüfung wenden nicht nur die Industriellen, die zumeist selbst Einrichtungen und kleinere Laboratorien besitzen, sondern insbesondere auch die Behörden besondere Aufmerksamkeit zu, weil es wichtig ist, daß die für amtliche Zwecke verwendeten Papiere eine gewisse Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit besitzen.

Die in erster Linie wichtigen Eigenschaften des Papieres sind: Festigkeit, Dehnbarkeit, Dauerhaftigkeit, Gleichmäßigkeit in Dicke und Farbe, chemisches Verhalten und Oberflächenbeschaffenheit. Die Festigkeit wird durch Zerreißen, Falten, Knittern (Papierknitterer), Einreißen usw. bestimmt. Für das Zerreißen und die Untersuchung der absoluten Festigkeit bestehen eigene Zerreißapparate, ebenso für das Knittern (Knitterer von Schopper nach Martens, Knitterer von Pfuhl). Die Dauerhaftigkeit der Papiere wird durch die Kontrolle der Festigkeit geprüft, d. h. letztere darf bei guten Papieren auch nach längerer Zeit keine Abnahme aufweisen. Die Dehnbarkeit steht in Beziehung zur Festigkeit und Dauerhaftigkeit, indem bei schlechteren und wenig dauerhaften Papieren die Festigkeit und die Dehnbarkeit im Laufe der Zeit gleichermaßen wesentlich abnehmen. Manche Papiere zerfallen dann ohne wesentliche Beanspruchung von selbst. Bei der Festigkeitsprüfung bedient man sich des Begriffes der Reißlänge, d. i. jene Länge eines Streifens von bestimmter Breite, welche durch ihr Eigengewicht zu Bruch gelangt. Drückt man diese Reißlänge R in Metern aus, die Breite des Streifens b in Millimetern, und ist das Zerreißgewicht, welches der Zerreißapparat bei erfolgtem Bruch anzeigt, p Gramm, das Gewicht eines Quadratmeters des untersuchten Papieres g Gramm, so erhält man folgende Beziehungen:

1) Auf 1 qm entfallen $\frac{1000}{b}$ Streifen;

2) 1 Verhältnisstreifen von 1 m Länge wiegt also $g : \frac{1000}{b} = \frac{g\,b}{1000}$ gr;

3) da das Reißgewicht bzw. das Eigengewicht, welches den Versuchstreifen zu Bruch bringt, p ist, entfallen auf p Gramm ... $p : \frac{g\,b}{1000}$ m, oder die Reißlänge ist

$$R = \frac{p}{g.b} . 1000 \text{ m.}$$

Ein Streifen von $b = 15$ mm Breite, der bei $p = 6$ kg reißt und von dessen Qualität 1 qm 80 gr wiegt, hat sonach die Reißlänge $R = \frac{6000}{80.15} . 1000 = 5000$ m.

Die Prüfung wird für beide Richtungen — Länge und Breite — ausgeführt, die Dehnung pflegt man in Hundertteilen der Anfangslänge auszudrücken. Die Untersuchung für beide Richtungen ist bei Maschinenpapieren wegen der oben betonten einseitigen Querschüttelung unerläßlich, auf den Prüfungsscheinen kann das arithmetische Mittel gezogen werden. Die Reißlänge schwankt nach Hoyer zwischen 2000 bis 6000, die Bruchdehnung zwischen 1,5 bis 4,5 %. Auch die Glätte des Papieres — d. i. die Oberflächenbeschaffenheit — muß in bestimmten Fällen, zum Beispiel für Schreibpapiere, untersucht werden. Von besonderer Wichtigkeit ist die Untersuchung des Widerstandes gegen Zerknitterung. Über Papierprüfung vgl. die grundlegenden Arbeiten von E. Hoyer: „Das Papier, seine Beschaffenheit und deren Prüfung" (München), und Dr. Herzberg: „Prüfung des Papieres" (Berlin).

DIE CHEMISCHE GROSZINDUSTRIE VON OTTO N. WITT

Die chemische Industrie verdankt ihre Entstehung und ihre Existenzberechtigung dem Umstande, daß die Natur uns ihre Produkte zumeist in der Form von Gemischen liefert, welche als Ganzes zwar auch direkt verwendbar sind, deren Wirkungskreis aber sehr erweitert werden kann, wenn die Einzelbestandteile in Form einheitlicher chemischer Verbindungen zugänglich werden. Doch nicht allein dieser Umstand ist maßgebend für die chemische Bearbeitung der Naturprodukte, sondern es kommt hinzu, daß selbst da, wo die Natur verhältnismäßig weit in der Isolierung und Reinabscheidung chemischer Individuen gegangen ist, die Menge, in welcher sie ihre Gaben erzeugt, gewöhnlich in keinem Verhältnis zu unseren Bedürfnissen steht. Als Beispiel einer derartigen Sachlage mögen die wichtigsten Natriumsalze herangezogen werden, deren Anwendbarkeit eine überaus vielseitige ist, so daß die Menschheit sie sich schon seit den ältesten Zeiten zunutze gemacht hat. Das Natriumchlorid ist als Kochsalz ein unentbehrliches Lebensbedürfnis aller Menschen und Tiere; das Natriumkarbonat, die Soda, ist nicht minder wertvoll als Wasch- und Scheuermittel, als Rohmaterial für die Herstellung von Seifen, Glas und vielen anderen höchst nützlichen Hilfsmitteln unseres Daseins. Das Natriumsulfat endlich oder Glaubersalz findet ebenfalls eine ausgedehnte medizinische und technische Anwendung seit den ältesten Zeiten. Alle diese Salze finden sich fertig gebildet und vielfach auch in recht reinem Zustande in der Natur, und gerade dadurch hat der Mensch frühzeitig ihre Bekanntschaft gemacht und ihre Anwendbarkeit kennen gelernt. Aber während das Kochsalz in so großen Mengen vorhanden ist, daß ein Mangel selbst bei noch so starkem Verbrauch auch in den entferntesten Zeiten nicht zu befürchten ist, und daß man somit mit vollem Recht von einer Unerschöpflichkeit dieser Gabe der Natur sprechen kann, ist das natürliche Vorkommen des Glaubersalzes und der noch viel wichtigeren Soda so beschränkt, daß schon seit den Zeiten des Altertums ein Mangel an diesen Salzen oft empfunden worden ist. Da nun alle drei Salze Abkömmlinge eines und desselben Elementes, nämlich des Natriummetalles, sind, so legte schon das allererste Erwachen chemischer Überlegung die Frage nahe, ob nicht das in überreichem Maße vorhandene Kochsalz in die beiden anderen so kärglich dargebotenen Salze sich verwandeln ließe. Das auf solche Weise geschaffene Problem hat im Laufe der Zeiten immer andere Lösungen gefunden, deren jede eine tiefgreifende Umgestaltung unserer gewerblichen chemischen Arbeit bedeutet. Ähnlich wie in diesem ist die Sachlage in unzähligen anderen Fällen, bei welchen es sich immer darum handelt, leicht zugängliche und deshalb billige Naturprodukte in andere, in ungenügendem Maße vorhandene und daher kostspielige zu verwandeln und auf diese Weise Werte zu schaffen, welche den Lohn für die Bearbeitung des von der Natur gelieferten Rohmaterials darstellen.

Wenn so die Tätigkeit der chemischen Industrie, auf ihre Rohmaterialien bezogen, sich zum Teil als eine abscheidende, zum Teil auch als eine umformende darstellt, so hat uns die Neuzeit noch einen dritten, prinzipiell verschiedenen Weg zu

gewinnbringender chemischer Arbeit gewiesen, für dessen Betretung freilich die vorherige genaue Durchforschung der Natur der Materie, mit anderen Worten, die Begründung und verhältnismäßig hohe Entwicklung einer chemischen Wissenschaft erforderlich war. Erst diese konnte uns lehren, daß die verschiedensten Naturprodukte unter gewissen in der Natur für gewöhnlich nicht eintretenden Bedingungen chemische Umwandlungen mannigfaltigster Art erleiden können und dabei neue, in der Natur nicht vorkommende Produkte liefern. In dem Maße, in welchem diese letzteren erforscht und in ihren Eigenschaften uns vertrauter wurden, ergaben sich für sie auch praktische Verwendungsmöglichkeiten. So ging die chemische Technik von ihrer zunächst bloß abscheidenden und umformenden Arbeit mehr und mehr auch zu einer aufbauenden oder, wie man sie gewöhnlich nennt, synthetischen Tätigkeit über, indem sie nicht nur die Arbeit der Natur in einer den wachsenden Bedürfnissen angemessenen Weise weiterführte, sondern auch neue Erzeugnisse schuf, welche wir in der ganzen Welt vergeblich gesucht haben würden, von denen uns viele aber im Laufe der Zeit unentbehrlich geworden sind. Daß diese aufbauende Tätigkeit schließlich zur technischen Synthese im engeren Sinne des Wortes, d. h. zur künstlichen Darstellung gewisser Naturprodukte zurückführen mußte, deren natürliche Entstehungsweise uns entweder noch unbekannt oder mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln nicht nachahmbar ist, war eine Notwendigkeit, die nicht ausbleiben konnte. Denn zwischen der chemischen Arbeit des Laboratoriums und der Fabrik und derjenigen der schaffenden Natur besteht kein Gegensatz; beide beruhen auf denselben unwandelbaren Gesetzen, deren Anwendbarkeit aber so mannigfaltig und vielseitig ist, daß weder der Mensch noch auch die schaffende Natur selbst jemals alle Bedingungen wird erschöpfen können, unter denen sie in Wirkung treten.

Die chemische Technik unserer Tage stellt sich auf solche Weise dar als ein direkter Abkömmling der hochentwickelten chemischen Forschung. Aber sie ist gleichzeitig auch die Mutter dieser letzteren, denn sie wuchs in ihren Anfängen empor aus den zwingenden Bedürfnissen der Menschheit, welche alle technische Arbeit zuwege gebracht haben. Indem sie dann, zunächst nur von praktischen Gesichtspunkten ausgehend und nach Erwerb strebend, immer mehr sich vervollkommnete und immer vielseitiger wurde, trug sie das Material und auch das Werkzeug zusammen, mit welchem die erwachende chemische Forschung ihren idealen Zielen zustreben konnte. Wenn sich dabei Resultate ergeben haben, welche bestimmt waren, auf die chemische Technik zurückzuwirken und sie in neue Bahnen zu lenken, sie zu einem in seiner Größe kaum faßbaren Aufschwung zu befruchten, so liegt darin gewissermaßen der Dank, den die reine wissenschaftliche Forschung der chemischen Technik schuldete. Zu allen Zeiten sind daher gerade auf chemischem Gebiete die Beziehungen zwischen der reinen Wissenschaft und ihren praktischen Anwendungen überaus innige geblieben, und eine Trennung der einen Disziplin von der anderen ist nur in geringfügigen Einzelheiten und selbst in diesen nicht auf die Dauer möglich.

Anderseits ist es ein Fehler, wenn die Entstehung der chemischen Industrie mitunter als eine Folge der Begründung der chemischen Wissenschaft, welche wir heute ja von der letzten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu datieren pflegen, bezeichnet wird. Eine in ihrer Bedeutung oft unterschätzte chemische Technik existierte schon im Mittelalter und reicht in einzelnen Zweigen sogar bis ins Altertum zurück. Die Alchimisten sind zu ihrer Tätigkeit vielfach durch die technisch-chemische Arbeit ihrer Zeit angeregt worden und bezogen von ihr auch das Material, mit welchem sie ihre uns heute vielfach wunderlich scheinenden Experimente anstellten. Die chemische Technik

Abbildung 1. Gesamtanlage der Badischen Anilin- und Sodafabrik zu Ludwigshafen am Rhein, der größten chemischen Fabrik der Welt.

jener Zeiten schloß sich eng an den damals schon hochentwickelten Bergbau, der reichliche Mengen der verschiedensten, zu chemischer Bearbeitung einladenden Mineralien zutage förderte, gleichzeitig aber auch in der Verarbeitung seiner Erze für chemische Hilfsmittel mancherlei Verwendung hatte. Die Alaun- und Salpetersiedereien, Pottasche- und Sodalaugereien und Säurehütten des Mittelalters sind heute verschwunden und fast vergessen, aber sie spielen in der Geschichte der Technik eine wichtige Rolle, welche etwas eingehender zu beleuchten eine interessante Aufgabe wäre, wenn nicht gerade das vorliegende Werk das Ziel verfolgte, in erster Linie nur die Gegenwart zu schildern und die Geschichte des Gewordenen nur so weit zu berücksichtigen, als es unbedingt erforderlich ist.

Insofern freilich ist das Ende des 18. Jahrhunderts auch für die chemische Technik von epochemachender Bedeutung gewesen, als damals die Umgestaltung der handwerksmäßigen und intermittierenden Arbeit zu fabrikatorischen Betrieben sich auf chemischem Gebiete genau so vollzog wie auf vielen anderen. Der Begriff der Arbeitsteilung wurde geschaffen, die Notwendigkeit einer kontinuierlichen, fortdauernd möglichst gleichmäßigen Arbeit wurde erkannt, und daran schloß sich die Schöpfung kaufmännischer Organisationen für den Vertrieb der erzeugten Ware — kurz, der Sturm und Drang und die aus ihm emporblühende Neugestaltung der Dinge machte sich in jener Zeit wie für so vieles andere auch für die technisch-chemische Arbeit geltend. Damals wurde in den Kulturländern Europas, ja sogar in dem neugeborenen Lande jenseits des Atlantischen Ozeans der Grund zu mancher chemischen Fabrik gelegt, welche den mächtig gesteigerten Bedürfnissen einer neu aufblühenden Kulturepoche Rechnung trug. Manche der damals gegründeten Unternehmungen sind zu Welthäusern ersten Ranges emporgeblüht, die heute noch in voller Frische tätig sind.

Dieser Aufschwung führte zu der Schaffung des Begriffes der chemischen Großindustrie, der freilich im Laufe der Zeit mancherlei Wandlungen durchmachen mußte.

Zunächst sollte durch das Wort nur der Gegensatz des kontinuierlichen, große Massen produzierenden fabrikatorischen Betriebes zu der aus älteren Zeiten stammenden Herstellung chemischer Präparate ausgedrückt werden, wie sie damals vielfach, namentlich auch in den Apotheken, als Nebenerwerb betrieben wurde. In großen Massen konnten aber damals nur diejenigen Produkte erzeugt werden, welche gewissermaßen das Handwerkszeug des Chemikers bilden und bei aller chemischen Arbeit in größerer oder geringerer Menge verbraucht werden. Es sind dies die starken anorganischen Säuren und Alkalien sowie einige anorganische Salze von vielseitiger Verwendbarkeit, wie Soda, Glaubersalz, Pottasche und andere. Erst die neuere Zeit hat so vielseitige Verwendungsmöglichkeiten für chemische Produkte aller Art zuwege gebracht, daß auch viele andere Verbindungen, namentlich auch solche aus dem Gebiete der organischen Chemie, zum Gegenstand eines regelmäßigen Großbetriebes haben werden können. Damit ist das Wort „Großindustrie" auf die verschiedenartigsten chemischen Betriebe anwendbar geworden und hat von seiner früheren exklusiven Bedeutung außerordentlich viel eingebüßt.

Insofern aber hat die Neuzeit an den früher obwaltenden Verhältnissen nichts zu ändern vermocht, als immer noch die einfachsten anorganischen Verbindungen, die Säuren, Alkalien und einige Salze, das wichtigste Werkzeug der chemischen Technik bilden und für chemische Arbeit aller Art, sie möge nun im Laboratorium des Forschers oder in den Werkstätten gewaltiger Fabriken sich abspielen, unbedingtes Erfordernis sind. Eine Schilderung des heutigen Standes der chemischen Industrie wird daher immer noch mit einer Besprechung der anorganisch-chemischen Großindustrie beginnen müssen.

Wenn im vorstehenden, freilich nur in Umrißlinien, der Werdegang der modernen chemischen Industrie skizziert worden ist, so drängt sich unwillkürlich auch die Frage nach den Wohnorten auf, welche sie sich erkoren hat. Hier begegnen wir einem außerordentlich interessanten Wechselspiel verschiedener Einflüsse.

Im Anfange sind es wohl fast immer lokale Verhältnisse, vor allem das natürliche Vorkommen der erforderlichen Rohmaterialien gewesen, welche bestimmte chemische Betriebe veranlaßten, sich hier oder dort niederzulassen. Mit der wachsenden Vielseitigkeit der chemischen Fabriken aber verloren dieselben ihre Bedeutung, desto wichtiger wurden die Transport- und Arbeiterverhältnisse. Dicht bevölkerte Gebiete in der unmittelbaren Nachbarschaft guter Häfen und wichtiger Wasserstraßen boten die gesuchten Vorteile und wurden daher die ersten Sitze einer machtvollen Entfaltung der chemischen Technik. Mit der Verschiebung der Verkehrsverhältnisse, wie sie durch die Schöpfung hochentwickelter Eisenbahnnetze sich vollzieht, hält auch die chemische Industrie Schritt und dringt mehr und mehr in Gebiete, in welchen früher nur der Ackerbau heimisch war. Aber gleichzeitig erweitert sich auch ihr eigener Wirkungskreis. Mehr und mehr dehnen die chemischen Fabriken ihre Absatzgebiete aus; sie arbeiten nicht mehr ausschließlich, wie im Anfang, für ihre unmittelbare Nachbarschaft, sondern auch für das entferntere Inland, ja schließlich erscheinen sie auf den großen Stapelplätzen des Welthandels und treten in gegenseitigen Wettbewerb. Nun wird es Aufgabe der Regierungen, die Industrie ihrer Länder durch angemessene Zolltarife und Handelsverträge zu fördern und zu schützen. Die dabei sich ergebenden Gesichtspunkte zu erörtern, liegt nicht im Plane dieses Werkes, nur so viel sei gesagt, daß diejenigen Länder, in welchen die chemische Industrie frühzeitig erstarkte, sich naturgemäß auf einen freihändlerischen Standpunkt stellten, während die anderen das Aufblühen ihrer eigenen Industrie durch Schutzzölle zu fördern suchten, die um

so höher ausfielen, je schwächer die zu schützende Industrie war und je rascher man sie emporbringen wollte. Es ist nicht zu leugnen, daß Länder wie die Vereinigten Staaten, Rußland und Japan auf diesem Wege in kurzer Zeit so Bedeutendes erreicht haben, daß sie sehr bald ihrer Schutzzölle, welche in letzter Linie doch von den Bewohnern des Landes aufgebracht werden müssen, nicht mehr bedürfen werden. Dagegen haben Länder wie England und Deutschland, in welchen die chemische Industrie zuerst sich zu solcher Größe entwickelte, daß sie für ihren Absatz auf den Welthandel angewiesen war, naturgemäß von einem Zoll auf chemische Produkte stets abgesehen oder höchstens einzelne Rohmaterialien mit mäßigen Eingangszöllen belegt.

Fragt man sich nach den Gründen, welche in einzelnen Ländern eine besonders rasche Entwicklung der chemischen Industrie bewirkten, so zeigt sich ein überraschender Parallelismus mit der Entwicklung der rein wissenschaftlichen chemischen Forschung in diesen Ländern, ein Beweis, daß die chemische Industrie hohe Ansprüche an die wissenschaftliche Vorbildung derer macht, welche sie ausüben, und daher nur dort gedeihen kann, wo ihr gutgeschulte Hilfskräfte in genügender Zahl zur Verfügung stehen. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, in den Zeiten eines Lavoisier, Berthollet, Davy, Dumas, Faraday und Graham, hatten unzweifelhaft Frankreich und später namentlich England die Führung auf diesem Gebiet übernommen. Aber mit dem Auftreten eines Liebig, Wöhler, Hofmann, Kekulé, Baeyer verschiebt sich das Schwergewicht mehr und mehr zugunsten Deutschlands, wobei freilich die Begründung des Reiches und die damit verbundene Hebung der wirtschaftlichen und politischen Grundlagen gewerblicher Arbeit mächtig fördernd mitwirkte. Heute ist es unzweifelhaft unsere deutsche chemische Industrie, welche die Führung übernommen hat und, freilich nur mit Anspannung ihrer gesamten gewaltigen Kräfte, zurzeit noch siegreich behauptet. Dabei zeigt es sich mehr und mehr, daß auch die natürlichen Grundbedingungen für die Entwicklung einer chemischen Großindustrie in Deutschland so vollständig und in so glücklicher Zusammenstellung gegeben sind, wie kaum in einem anderen Lande der Erde.

Die für alle chemische Arbeit unentbehrlichen und daher wichtigsten und in ungeheuren Quantitäten verbrauchten Produkte aus dem Gebiete der anorganischen Chemie sind Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure; Natriumhydroxyd, sogenannte kaustische Soda, und Kaliumhydroxyd sowie Ammoniak; Chlornatrium (Kochsalz) und Chlorkalium, welche als Produkte des Bergbaues und Salinenbetriebes in einem anderen Kapitel dieses Werkes bereits besprochen sind und hier nur als Rohmaterialien in Betracht kommen, Natriumkarbonat oder Soda, Kaliumkarbonat oder Pottasche, Natriumsulfat, welches in der Technik im wasserfreien Zustande einfach als „Sulfat" bezeichnet wird, Natron- und Kalisalpeter, welche letzteren bezüglich ihres Vorkommens in der Natur und ihrer Gewinnung ebenfalls bereits abgehandelt wurden, und endlich noch das Chlor und die von ihm sich ableitenden Produkte: Chlorkalk und die Chlorate. Alle diese Produkte sind in älterer Zeit, soweit sie überhaupt bekannt waren, nach voneinander unabhängigen einfachen Methoden gewonnen worden, welchen allen das gemeinsam ist, daß sie für den Großbetrieb kaum in Betracht kommen können. Ein solcher entwickelte sich erst, als die Fabrikation aller dieser Körper in einen bestimmten Zusammenhang gebracht wurde, der aber als schwerwiegende Folge eine Zwangläufigkeit dieser ganzen Industrie zeitigte.

Diese Zwangläufigkeit ergibt sich ganz von selbst, wenn wir bedenken, daß alle chemischen Reaktionen sich nach ganz bestimmten, durch die Molekulargewichte der reagierenden Körper gegebenen Mengenverhältnissen abspielen. Sobald wir also die

Fabrikation aller der genannten Produkte in chemischen Zusammenhang bringen, können wir die erzeugten Mengen nicht mehr willkürlich bestimmen, sondern wir müssen sie so hinnehmen, wie sie nach den Gesetzen der Äquivalentverhältnisse sich ergeben. Steigern wir notgedrungen die Produktion an einem dieser Produkte, so hebt sich ganz von selbst auch diejenige aller anderen, und es entsteht die Notwendigkeit, auch für sie einen Absatz zu suchen. Es ist gerade diese Zwangläufigkeit der chemischen Großindustrie gewesen, welche der gesamten chemischen Technik ihren expansiven Charakter aufgeprägt hat, denn für diejenigen Produkte, für welche in der unmittelbaren Nachbarschaft der nötige Absatz nicht vorhanden war, mußte durch Ausnutzung der gegebenen Transportverhältnisse das Absatzgebiet erweitert werden. Unabhängig von diesem Zwange sind einzig und allein die ersten Glieder der ganzen Fabrikationsfolge.

Den ersten Anstoß zur Entstehung dieser zwangläufig gegliederten chemischen Großindustrie gab die Erfindung des alten Sodaprozesses durch Nicolas Leblanc, dem es allerdings nicht vergönnt war, die Früchte seines genialen Schaffens zu ernten. Es war in der Zeit der Napoleonischen Kriege, durch welche Spanien, damals der wichtigste Produzent der aus der Asche von Strandpflanzen gewonnenen Soda, von dem Verkehr mit Frankreich abgesperrt wurde. Der dadurch entstandene Sodamangel sollte beseitigt werden, zu welchem Zwecke ein von Napoleon erlassenes Preisausschreiben die Aufgabe stellte, das in reichlicher Menge vorhandene Kochsalz in Soda überzuführen. Dieses Problem löste Leblanc, indem er das Kochsalz zunächst durch Behandlung mit Schwefelsäure in Sulfat verwandelte, wobei eine äquivalente Menge von Salzsäure als Nebenprodukt entsteht. Das Sulfat führte er durch Glühen mit Kohle und Kalkstein in Soda über. Die letztere Umwandlung wird erst verständlich, wenn wir uns klarmachen, daß dabei zwei chemische Prozesse hintereinander sich abspielen. Durch die Wirkung der Kohle auf das Sulfat wird dieses zu Sulfid reduziert, welches mit dem vorhandenen Kalkstein — Kalziumkarbonat — zu Kalziumsulfid und Soda sich umsetzt. Als Rohmaterialien dieses Prozesses haben wir somit Kochsalz, Schwefelsäure, Kohle und Kalkstein, während als Zwischen- und Endprodukte Sulfat, Salzsäure und Soda in voneinander abhängigen Mengen erhalten werden. Von den Rohmaterialien sind Kochsalz, Kohle und Kalkstein Naturprodukte, nur die Schwefelsäure müssen wir uns in solchen Mengen darstellen, wie sie der gewünschten Produktion an Zwischen- und Endprodukten entsprechen.

Infolge der Beendigung der Kriege mit Spanien wurde die durch Leblanc gefundene Lösung des Napoleonischen Problems zunächst für Frankreich belanglos. Die in ihren Umrissen geschilderte Industrie trat erst ins Leben, nachdem England bedeutend später sich ihrer bemächtigt hatte, und hier entwickelte sie sich gerade durch die Möglichkeit, den Überschuß der jeweiligen Produktion auf dem Seewege abzusetzen, sehr bald zu imposanter Größe. Allmählich folgten auch Frankreich und Deutschland; der Leblanc-Sodaprozeß wurde auch dadurch erweitert, daß man ihn auf die Chlorkaliumfunde von Staßfurt übertrug. Die im Anfang große Schwierigkeiten bietende Unterbringung der bei dem Leblanc-Prozeß gewonnenen großen Mengen von Salzsäure wurden durch die Nutzbarmachung des aus ihr gewinnbaren Chlors und seiner Abkömmlinge ermöglicht. So blieb es bis zum Beginn der siebziger Jahre des verflossenen Jahrhunderts. Damals wurde ein anderes, seit langer Zeit bekanntes, aber zunächst für nicht durchführbar gehaltenes Verfahren zur Überführung von Kochsalz in Soda durch den genialen Erfinder Ernest Solvay gangbar gemacht und damit die erste Bresche in die Zwangläufigkeit der anorganisch-chemischen Großindustrie ge-

schossen. Denn es liegt auf der Hand, daß in dem Augenblicke, wo uns zwei technisch gleichwertige Verfahren zur Gewinnung des Endproduktes zur Verfügung stehen, uns auch die Möglichkeit gegeben wird, durch Bevorzugung des einen oder des anderen Verfahrens die Menge der nebenher erzeugten Zwischenprodukte willkürlich zu regulieren. Die Zwangläufigkeit blieb nur in beschränktem Maße erhalten für die Salzsäure und das aus ihr gewonnene Chlor. Aber auch hier hat sich in neuester Zeit eine Wandlung vollzogen, nachdem es infolge des Aufblühens der Elektrotechnik gelungen ist, die Alkalichloride auf elektrolytischem Wege ohne Zwischenbildung von Salzsäure in ihre Bestandteile, nämlich Chlor und Alkalimetall, zu spalten, welches letztere freilich sich sofort in dem vorhandenen Wasser unter Wasserstoffentwicklung und Bildung von Alkalihydroxyd auflöst. Damit ergibt sich eine einfache Methode, um auch die Alkalihydroxyde, welche früher nur durch Umsetzung der Alkalikarbonate mit Ätzkalk gewonnen werden konnten, direkt aus den Chloriden zu erhalten. Heute bestehen die hier kurz skizzierten Verfahren nebeneinander und müssen auch so weiterbestehen, weil nur dann die Zwangläufigkeit der Produktion aufgehoben ist. Der in der ersten Zeit zwischen den verschiedenen Verfahren entbrannte Kampf hat sich längst in ein Zusammenarbeiten verwandelt, und es ist jedem der verschiedenen Verfahren derjenige Wirkungskreis zugewiesen worden, für welchen es sich als das vorteilhafteste erwiesen hat.

Der alte Leblanc-Prozeß wird heute zumeist nur in seiner ersten Hälfte durchgeführt und dient zur Gewinnung der nötigen Mengen von Sulfat und Salzsäure. In wesentlich reduziertem Maßstabe findet er auch noch in seinem zweiten Teile Verwendung, namentlich in England, wo er sich aus bestimmten Gründen als zweckmäßig für die Herstellung von kaustischer Soda erweist. Auch die dabei entstehenden Sodarückstände haben nützliche Verwendung zur Herstellung von Sulfiden und Thiosulfaten gefunden, für welche in dem Maße der heutigen beschränkten Durchführung des Prozesses der nötige Absatz vorhanden ist, während es unmöglich war, diese Sodarückstände zweckmäßig zu verwerten, solange noch der gesamte Weltbedarf an Soda nach dem Leblanc-Verfahren hergestellt werden mußte.

Der Solvay-Prozeß produziert mehr als vier Fünftel des heutigen Weltbedarfs an Soda. Es ist der große Vorzug dieses Prozesses, daß bei ihm als einziges Nebenprodukt eine wäßrige Lösung von Chlorkalzium erhalten wird, in welchem Salze das bei der Umwandlung von Kochsalz in Soda beseitigte Chlor seine Unterkunft gefunden hat. Für diese Chlorkalziumlauge, die außerdem noch einen erheblichen Anteil des in Arbeit genommenen Kochsalzes enthält, hat eine erschöpfende Verwertung bisher nicht gefunden werden können. Sie kehrt zum größten Teil durch Versickerung und Entlassung in die Flußläufe in die Allgemeinheit zurück. Aus diesem Grunde muß der Solvay-Prozeß trotz seiner genialen technischen Ausgestaltung als das unvollkommenste, nur einen Teil der der Natur entnommenen Gabe verwertende unter den hier in Frage stehenden Verfahren bezeichnet werden.

Der neugeschaffenen elektrolytischen Industrie ist die Gewinnung des Weltbedarfs an Chlor und seinen Abkömmlingen fast ganz, die Darstellung der Alkalihydroxyde zum großen Teil zugefallen. Insbesondere wird die Gewinnung des Kaliumhydroxyds aus Chlorkalium ausschließlich auf diesem Wege betrieben, denn infolge des höheren Atomgewichts des Kaliums sind die Ausbeuten bei der Verarbeitung von Chlorkalium besser als bei derjenigen von Chlornatrium. Auch die Herstellung von Pottasche, Kaliumkarbonat, erfolgt heute zum Teil schon durch Sättigung von elektrolytisch erhaltener Kalilauge mit Kohlensäure, während früher umgekehrt Kalilauge aus Pott-

asche durch Umsetzung mit Ätzkalk gewonnen wurde. Der Solvay-Prozeß ist bei Chlorkalium infolge der andersgearteten Löslichkeitsverhältnisse der Kalisalze nicht in derselben Weise anwendbar wie bei Chlornatrium, aber es ist durch Mitbenutzung der aus den Staßfurter Salzen gewonnenen Magnesiumverbindungen möglich gewesen, in dem sogenannten Engel-Precht-Prozeß ein besonderes selbständiges Pottasche-Gewinnungsverfahren auszubilden, welches in der Kaliindustrie das Äquivalent des Solvay-Prozesses darstellt.

In der vorstehenden Schilderung ist die Salpetersäure nicht erwähnt; sie kann aus den in der Natur gewonnenen Nitraten in derselben Weise durch Umsetzung mit Schwefelsäure erhalten werden, in welcher aus den Chloriden die Salzsäure gewonnen wird. Als Nebenprodukt entstehen dabei die entsprechenden Alkalisulfate. Aus diesem Grunde und auch deshalb, weil früher die Salpetersäure ein unentbehrliches Hilfsmittel der Schwefelsäurefabrikation war, stand die Salpetersäurefabrikation im innigsten Zusammenhang mit dem Leblanc-Prozeß, wenn auch hier eine Zwangläufigkeit bezüglich der Mengenverhältnisse der erzeugten Produkte nicht in gleicher Art gegeben war. Das beginnende 20. Jahrhundert hat aber auch auf diesem Gebiete zu einer Neuschöpfung und völligen Befreiung geführt. Wiederum wie bei allen früheren umwälzenden Neuschöpfungen dieser Industrie, durch Zurückgreifen auf wissenschaftliche Errungenschaften frühester Zeit, d. h. des 18. Jahrhunderts, gleichzeitig aber durch neue Befruchtung derselben durch modernste technische Ausgestaltung ist es möglich geworden, die Bestandteile der Luft, den Stickstoff und Sauerstoff, welche in unserer Atmosphäre nur gemischt, nicht aber chemisch verbunden sind, zur Vereinigung zu zwingen und unter Zuhilfenahme der Elemente des Wassers aus ihnen Salpetersäure darzustellen, welche nachträglich durch Absättigung mit geeigneten Metallen in Nitrate verwandelt wird. So haben wir auch hier wieder eine Umkehrung des früher Üblichen: während wir früher Salpetersäure ausschließlich aus den natürlichen Nitraten gewinnen mußten, stellen wir heute umgekehrt Nitrate aus synthetisch erzeugter Salpetersäure dar. Freilich hat diese neugeschaffene Industrie noch nicht den Umfang angenommen, daß sie das Altgewohnte vollkommen oder auch nur zum großen Teil hätte beseitigen können; es sind auch Gründe vorhanden, weshalb dies auf absehbare Zeit hinaus nicht wird geschehen können, immerhin aber haben wir in der allerneuesten Errungenschaft der chemischen Industrie, dem modernen Stickstoff-Verbrennungsverfahren, eine neue Methode zur selbständigen und unabhängigen Erzeugung eines unserer fundamentalen chemischen Produkte gewonnen und damit die der Natur mühsam abgekämpfte Selbstbestimmungsfähigkeit der Industrie um ein beträchtliches erweitert.

DIE SCHWEFELSÄURE-INDUSTRIE

Die Fabrikation der Schwefelsäure bildet zwar eine Voraussetzung für die Durchführung des später zu besprechenden Leblanc-Prozesses, aber sie gehört nicht eigentlich in den Kreislauf desselben und ist auch wesentlich älter als die Schöpfung des großen französischen Erfinders.

Im Mittelalter wurde die damals schon von den Alchimisten, Pharmazeuten und Metallurgen in recht beträchtlicher Menge verbrauchte Schwefelsäure in der Weise gewonnen, daß man die an vielen Stellen auftretenden, Pyrit führenden Alaunschiefer in feuchtem Zustande an der Luft verwittern ließ, die dabei entstehenden Sulfate mit Wasser auslaugte und nach dem Abdampfen zur Trockne der Destillation unterwarf. Je nachdem man dabei die Feuchtigkeit mehr oder weniger ausschloß, bekam man

stärkere oder schwächere Schwefelsäure, das sogenannte Vitriolöl des damaligen Handels. Kleinere Mengen von Schwefelsäure stellten die Alchimisten gelegentlich in der Weise sich dar, daß sie unter Glasglocken oder in Glasballons ein Gemisch von Schwefel und Salpeter verbrannten und die entstehenden Dämpfe in Wasser auffingen. Aus letzterem Verfahren hat sich dann allmählich der Bleikammerprozeß herausgebildet, der lange Zeit als ausschließliches Verfahren zur Herstellung von Schwefelsäure bestehen blieb und auch heute noch in sehr großem Umfange betrieben wird.

In seiner endgültigen Form zerfällt der Bleikammerprozeß in mehrere Phasen. Es wird zunächst Schwefel mit Hilfe des Sauerstoffs der Luft zu gasförmigem Schwefeldioxyd verbrannt. Dieses vermag in Gegenwart von Wasser abermals Sauerstoff aufzunehmen und auf solche Weise Schwefelsäure zu bilden. Aber dieser Vorgang vollzieht sich nur in sehr unvollkommener Weise, ja wahrscheinlich überhaupt nicht, wenn nur die genannten Ingredienzien zugegen sind. Zu einer glatt und vollständig verlaufenden Reaktion gestaltet er sich erst dann, wenn die Mitwirkung katalytisch wirkender Agentien in Anspruch genommen wird.

Ein Katalysator ist bekanntlich eine Substanz, welche einen an sich nicht durchführbaren chemischen Prozeß zustande zu bringen vermag, scheinbar durch ihre bloße Gegenwart und ohne daß sie sich an diesem Prozesse beteiligt. Wir wissen heute, wo die früher so rätselhaften katalytischen Vorgänge vielfach erforscht sind, daß dieselben nur scheinbar auf der bloßen Gegenwart der Katalysatoren beruhen. In Wirklichkeit sind diese letzteren Substanzen, welche mit einem der Ingredienzien eines Reaktionsgemisches eine chemische Verbindung einzugehen vermögen, welche dann ihrerseits mit den anderen in solcher Weise reagiert, daß das Verbindungsprodukt der Ingredienzien abgespalten und der Katalysator im ursprünglichen Zustande wieder freigemacht wird. Er kann dann seine Tätigkeit aufs neue beginnen, und dieser Prozeß kann sich unzähligemal wiederholen, bis schließlich die Gesamtmenge der Hauptingredienzien in der gewünschten Weise zur Wechselwirkung gebracht ist. Der Katalysator wird dann im scheinbar unveränderten Zustande wiedergefunden.

Für die hier in Frage stehende Vereinigung von Schwefeldioxyd, Sauerstoff und Wasser zu Schwefelsäure kennen wir heute zahlreiche Katalysatoren. Eigentlich handelt es sich dabei nur um die Vereinigung von Schwefeldioxyd und Sauerstoff zu Schwefeltrioxyd, dem sogenannten Schwefelsäureanhydrid. Ist letzteres einmal gebildet, so tritt es mit vorhandenem Wasser ganz von selbst zu Schwefelsäure zusammen. Der sogenannte Bleikammerprozeß benutzt als katalytisch wirksame Substanz Salpetersäure oder vielmehr die bei ihrer erstmaligen Wirkung aus ihr entstehenden niederen Oxyde des Stickstoffs. Die Eigenart dieses Prozesses aber besteht darin, daß das katalytisch wirkende Agens mit der zunächst gebildeten höheren Oxydationsstufe verbunden bleibt und erst dann in einer aufs neue anwendbaren Form abgespalten wird, wenn durch die Mitwirkung von Wasser Schwefelsäure entstanden ist. Aus diesem Grunde ist der Bleikammerprozeß auf die Mitwirkung von Wasser und somit auf die Herstellung einer wässerigen Schwefelsäure angewiesen. Zur Gewinnung von hochkonzentrierter Schwefelsäure oder gar Schwefeltrioxyd läßt er sich nicht verwenden. Für diesen Zweck müssen wir andere bei Abwesenheit von Wasser wirksame Katalysatoren zur Anwendung bringen. Auf einer derartigen Durchbildung des Prozesses beruht das moderne sogenannte Kontaktverfahren der Schwefelsäurefabrikation, welches heutzutage in sehr großem Umfange neben dem Bleikammerprozeß ausgeübt wird und von welchem erst später die Rede sein kann. Die katalytische Verwendung der samt und sonders gasförmigen niederen Oxyde des Stickstoffs im alten Schwefel-

säureprozeß bedingt die Benutzung von Apparaten, in welchen gewaltige Mengen von Gasen zur Wechselwirkung gebracht werden können. Als solche dienen aus Bleiblech hergestellte geschlossene Räume von riesenhaften Dimensionen, die sogenannten Bleikammern, von welchen der allgemein übliche Name des Verfahrens abgeleitet ist. Die Bleikammern ersetzen die Glasglocken, unter welchen die Alchimisten den Schwefelsäurebildungs-Prozeß in seiner primitivsten Form vorzunehmen pflegten, und sie sind auch insofern ein genaues Äquivalent derselben, als sie nach wie vor glockenförmig gestaltet und an einem festen Holzgerüst aufgehängt sind. Mit ihrem unteren Rande tauchen sie in eine ebenfalls aus Bleiblech gefertigte Schale, der verbleibende Spalt wird durch die sich bildende und in die Schale herabrieselnde Schwefelsäure hydraulisch verschlossen. Auf diese Weise wird ein vollkommen gasdichter Abschluß der Bleikammern nach außen erreicht und dabei doch das weiche Metall von einer Deformation durch die infolge von Schwankungen der Temperatur und des Barometerstandes auftretenden Druckdifferenzen geschützt.

Blei muß deshalb als Material für die Kammern sowohl wie für die große Mehrzahl der in dieser Industrie benutzten Apparate verwendet werden, weil es so ziemlich der einzige zu mäßigem Preise zugängliche Körper ist, welcher den ätzenden und lösenden Wirkungen der Schwefelsäure zu widerstehen vermag und dabei doch dem Konstrukteur bezüglich der Größenverhältnisse der zu arbeitenden Apparatur keine Beschränkungen auferlegt, wie es etwa das seiner Widerstandsfähigkeit nach ebenfalls verwendbare Glas, Steinzeug oder Porzellan tun würde. Alle bleiernen Apparate werden aus dem sehr weichen und daher jeder gewünschten Form sich anschmiegenden Walzblei zusammengebogen, und die Verbindungsstellen werden mit Hilfe des Wasserstoffluftgebläses, durch sogenannte autogene Lötungen, ohne Mitbenutzung irgendeines Lötmetalles gasdicht verschmolzen.

Ein sogenanntes Kammersystem besteht aus einer Reihe von hintereinandergeschalteten, durch weite Bleirohre miteinander verbundenen Bleikammern, durch welche die Gase hindurchwandern müssen. Dabei entsteht aus ihnen die Schwefelsäure, welche in den Kammern als Flüssigkeit sich zu Boden schlägt. Es wird im allgemeinen angenommen, daß der Prozeß der Schwefelsäurebildung sich hauptsächlich an den Stellen vollzieht, wo die Gase mit der vorhandenen Flüssigkeit sich berühren. d. h. also an den feuchten Wänden der Kammern. Auf Grund dieser Tatsache hat man in neuerer Zeit den Kammern die besondere Form der sogenannten Tangentialkammern gegeben, auf deren Details hier indessen nicht eingegangen werden kann. Die Anzahl der Kammern in einem System hat mehrfach gewechselt; während man früher eine größere Zahl von Kammern hintereinanderzuschalten pflegte, verwendet man heute nur noch drei, nämlich die erste oder sogenannte Vorkammer, in der die Gase sich gründlich mischen, die durch besondere Größe ausgezeichnete Hauptkammer, in der die Reaktion hauptsächlich sich vollzieht, und die Schlußkammer, in der noch ein letzter Rest von Säure abgeschieden wird. Das für die Reaktion unentbehrliche Wasser wurde früher in Form von Dampf den Kammern zugeführt; nachdem man aber erkannt hat, daß die damit gleichzeitig in die Kammern gelangende Wärme durchaus nicht wohltätig wirkt, pflegt man heute das Wasser in feinster nebelartiger Verteilung durch sogenannte Streudüsen einzuspritzen.

Über die in den Kammern sich abspielenden chemischen Vorgänge, die sogenannte Theorie des Schwefelsäurebildungs-Prozesses, ist viel, vielleicht zu viel geschrieben und gestritten worden, ohne daß eine endgültige Einigung erzielt wäre. Für die Zwecke dieser Darstellung genügt es, zu konstatieren, daß die als Katalysatoren wirk-

samen Oxyde des Stickstoffs nach Beendigung ihrer Tätigkeit in Form des farblosen Stickoxydes NO gasförmig abgespalten werden, welches sich dem Gasinhalt der Kammern wieder beimengt und nun mit dem vorhandenen Sauerstoff freiwillig zu dem ebenfalls gasförmigen, aber braungefärbten Stickstofftetroxyd N_2O_4 sich verbindet. Dieses reagiert mit dem vorhandenen Schwefeldioxyd und Wasser, das entstehende flüssige Zwischenprodukt wird unter Aufbrausen und Stickoxyd-Entwicklung in Schwefelsäure verwandelt. Das Spiel der Oxyde des Stickstoffs beginnt dann in gleicher Weise aufs neue.

Aus vorstehendem ergibt sich, daß es für den richtigen Verlauf des Schwefelsäureprozesses unbedingt erforderlich ist, daß stets ein Überschuß von Sauerstoff in dem Gasinhalt der Kammern sich vorfindet, und es ist die Hauptaufgabe des leitenden Chemikers, dafür zu sorgen, daß dies der Fall ist. Die Kontrolle darüber wird sehr erleichtert durch die eigentümliche braune Farbe des Stickstofftetroxydes. In der Schlußkammer müssen die Gase braungefärbt sein, ein Beweis dafür, daß noch überschüssiger Sauerstoff vorhanden, das Schwefeldioxyd aber, auf welches derselbe übertragen werden konnte, vollkommen verbraucht ist.

Sorgt man dafür, daß der Katalysator in dem schließlich zurückbleibenden Gase in Form von Stickstofftetroxyd enthalten ist, so kann man ihn auch aus diesem Gase zum Zweck erneuter Verwendung wieder herausholen. Es geschieht dies dadurch, daß man die Gase, ehe man sie in den Fabrikschornstein entläßt, in einem aus Bleiblech erbauten turmartigen Apparat mit konzentrierter Schwefelsäure wäscht, von welcher das Stickstofftetroxyd sehr leicht gelöst und zurückgehalten wird. Da diese sinnreiche Ergänzung des Schwefelsäureprozesses von dem berühmten französischen Chemiker Gay-Lussac erfunden ist, so wird der beschriebene Waschturm in der Industrie ganz allgemein als „Gay-Lussac" bezeichnet. Die aus dem Turm abfließende, mit Stickstofftetroxyd gesättigte Säure führt den Namen „Nitrose", und die Art und Weise, wie sie nutzbar gemacht wird, wird weiter unten erörtert werden.

Das für den geschilderten Betrieb der Kammern als Rohmaterial erforderliche Schwefeldioxyd wird durch Verbrennung von Schwefel erhalten. Da dieser in vulkanischen Gegenden, wie z. B. in Sizilien, aber auch an anderen Orten gediegen vorkommt und als Produkt des Bergbaues gewonnen wird, so kann die Fabrikation der Schwefelsäure auf die Verbrennung von molekularem Schwefel gegründet werden. Es geschah dies früher ausschließlich und geschieht noch heute in Ländern, die sich durch ihre Lage und ihre Transportverhältnisse dazu eignen, z. B. im Westen der Vereinigten Staaten, in Japan und anderwärts. Die europäische Industrie ist, zunächst veranlaßt durch ungerechtfertigte Monopolisierungsbestrebungen des sizilianischen Schwefels, dazu übergegangen, nicht gediegenen Schwefel zu verbrennen, sondern die in ungeheuren Mengen vorkommenden sulfidischen Erze abzurösten. In erster Linie kommen für diesen Zweck die spanischen Pyrite in Betracht, welche in kolossalen Mengen gewonnen werden und sich durch große Reinheit auszeichnen, so daß ihr Gehalt an verfügbarem Schwefel bis zu 50% des Gewichtes beträgt. Außerdem enthalten aber diese Pyrite als Beimengungen etwas Kupfer, Silber, Gold und Wismut. Der Gehalt an diesen wertvollen Metallen ist nicht groß genug, um die Pyrite als unmittelbares Rohmaterial für die Gewinnung derselben erscheinen zu lassen; wenn sie aber, wie dies in der Schwefelsäure-Industrie der Fall ist, als Nebenprodukt bei der Verwertung ihres Schwefelgehaltes gewonnen werden können, so sind sie imstande, die Kosten der Gewinnung und des Transportes der Erze zu decken, wodurch sich der Schwefelgehalt der Pyrite für die Schwefelsäurefabriken billiger stellt

als gediegener Schwefel. Auch der bei der Gewinnung der wertvollen Metalle verbleibende Rückstand, das Eisenoxyd, besitzt einen erheblichen Wert als ein Eisenerz von ungewöhnlicher Reinheit.

Die für die Verbrennung von gediegenem Schwefel erforderlichen Apparate sind außerordentlich einfach. Weniger leicht ist es der Industrie geworden, geeignete Apparate für die Abröstung der Pyrite zu konstruieren. Man erfand zuerst die sogenannten Kiesbrenner, welche aber die Verwendung eines Kieses von bestimmter Korngröße voraussetzen. Für die Verwertung des beim Brechen des Kieses abfallenden Feinmaterials, des sogenannten Schlieches, wurden die Malétraschen Plattenöfen konstruiert. In vielen großen Fabriken sind beide Arten heute zugunsten der mechanischen Röstöfen verlassen worden, welche den Kies, so wie er angeliefert wird, verarbeiten können und von denen der aus Amerika stammende Herreshoff-Ofen der verbreitetste ist. In diesen Öfen, welche eine zylindrische Gestalt haben und durch eingebaute Gewölbe in eine Reihe von Kammern zerlegt sind, wird der durch eine mechanische Speisevorrichtung eingetragene Kies durch ein vertikales, in sinnreicher Weise kühlgehaltenes Rührwerk fortwährend in Bewegung gehalten und aus einer Kammer in die andere befördert, wobei er in dem ihm entgegenziehenden Luftstrom verbrennt und seinen Schwefelgehalt abgibt. Das zurückbleibende Eisenoxyd, der sogenannte Abbrand, fällt kontinuierlich aus dem Ofen in untergestellte Transportkarren. Die Luftzufuhr für den Ofen wird in solcher Weise reguliert, daß nicht nur der eingeführte Sauerstoff für die Verbrennung des Kieses vollkommen ausreicht, sondern gleich auch der nötige Überschuß für die Schwefelsäurebildung in den Kammern zugegeben wird.

Die aus dem Ofen entweichenden Gase sind staubig und heiß. Von ihrem Staubgehalt werden sie in sogenannten Staubkammern befreit, ihr Überschuß an Wärme aber wird in einem Apparat zunutze gemacht, welcher nach seinem Erfinder als

Abbildung 2. Schwefelmine Trabonella in Sizilien: Gesamtansicht.

Abbildung 3. Schwefelmine Trabonella in Sizilien: Calcaroni, Öfen zum Ausschmelzen des Schwefels aus dem geförderten Mineral.

„Glover-Turm" bezeichnet wird. Derselbe ist wie der obenerwähnte Gay-Lussac ein aus Bleiblech erbauter, mit einer Füllung von säurefesten Steinen ausgesetzter Turm, in welchem die heißen Gase emporgeleitet werden. Ihnen entgegen läßt man die aus den Kammern gewonnene verdünnte Schwefelsäure rieseln; durch die Wärme der heißen Gase, welche an die Säure abgegeben wird, wird diese letztere eingedunstet. Der entstehende Wasserdampf mischt sich den kühler gewordenen Gasen bei und kommt in dem Schwefelsäurebildungs-Prozeß in der Kammer wieder zur Verwendung. Da nun aber aus dem Betriebe des Gay-Lussac-Turmes auch noch Nitrose vorhanden ist, d. h. eine starke, mit Oxyden des Stickstoffs beladene Säure, der man diese Oxyde durch Wasserzufuhr entziehen kann, so berieselt man den Turm auch mit solcher Nitrose. Der sich entwickelnde Wasserdampf bewirkt dann gleichzeitig auch die Zersetzung dieser letzteren, und die zurückbleibende, etwas verdünnte Säure mischt sich der eingedampften Kammersäure bei. Da auf solche Weise der Glover-Turm gleichzeitig zwei verschiedenen Zwecken dient, so hat man in neuerer Zeit angefangen, zwei hintereinandergeschaltete, etwas kleinere Glover-Türme zu verwenden, von denen der erstere mit Kammersäure berieselt wird und diese eindampft, während in dem zweiten die wasserhaltigen Gase zur Zersetzung der Nitrose benutzt werden. Da die aus der Nitrose zurückgewonnenen Oxyde des Stickstoffs in ihrer Menge etwas hinter dem ursprünglich zugefügten Quantum zurückbleiben, weil gewisse kleine Verluste unvermeidlich sind, so fügt man eine geringe Menge Salpetergase immer wieder aufs neue zu.

Wie man sieht, beruht der Bleikammerprozeß ganz wesentlich auf dem Wechsel der Konzentration der erzeugten Säure in den verschiedenen Stadien des Prozesses.

Es ist daher notwendig, hier kurz auf die Konzentration der Schwefelsäure einzugehen, welche stets in Graden Baumé angegeben wird. Die in den Kammern entstehende Säure hat eine Konzentration von 50—52° Bé, was einem Gehalt von 62—65% Gewichtsprozent an Schwefelsäure entspricht. Eine Säure von dieser Konzentration greift metallisches Blei noch nicht an und besitzt kein Lösungsvermögen für die niederen Oxyde des Stickstoffs. Durch die Konzentration im Glover-Turm erlangt die Säure eine Stärke von etwa 60° Bé, was einem Gehalt von 78—80% entspricht. Für den Betrieb des Gay-Lussac-Turmes wird eine starke Schwefelsäure von 65—66° Bé verwendet, welche 90—92% Schwefelsäure enthält.

Der Glover-Turm liefert uns solche hochkonzentrierte Säure noch nicht. Für sehr viele Verwendungen der Schwefelsäure ist sie auch nicht erforderlich, daher sind die Säuren von 50—60° Bé zu entsprechend billigen Preisen auch im Handel. Manche andere Verwendungen der Schwefelsäure aber, wie z. B. gerade diejenige im Betriebe des Gay-Lussac, verlangen die höchst erreichbaren Konzentrationen, und zu solchen kommt man erst, wenn man die Säure von 60° Bé noch weiter eindampft. Da dabei aber schon ganz erhebliche Mengen von Schwefelsäure mitverflüchtigt werden, so muß dieses Eindampfen in geschlossenen Apparaten erfolgen; es nimmt, mit anderen Worten, die Form einer Destillation an.

Die zu dieser höchsten Konzentration bestimmte Säure entnimmt man gewöhnlich nicht dem Glover-Turm, da das aus letzterem abfließende Produkt immer noch etwas durch den Staub der Pyritofengase verunreinigt ist, sondern man stellt sie sich durch

Abbildung 4. Schwefelmine Tallarita in Sizilien: Öfen zum Ausschmelzen des Schwefels aus dem Erz durch Behandlung desselben mit überhitztem Wasserdampf.

Abbildung 5. Schwefelgewinnung aus dem schwimmenden Gebirge in Louisiana nach dem Frasch-Verfahren. Ein Schwefelblock im Gewicht von 15000 Tonnen.

Eindampfen in aus Bleiblech verfertigten Pfannen besonders her. Aus diesen Bleipfannen wird die vorkonzentrierte Säure in die endgültigen Konzentrationsapparate gespeist.

Diese letzteren stellen naturgemäß die allerhöchsten Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit des Materials, aus dem sie gefertigt sind. Jahrzehntelang hat man sie daher nur aus Platin hergestellt; nachdem sich aber gezeigt hatte, daß auch Platin von siedender Schwefelsäure merklich gelöst wird, hat man zu dem gegen Säure noch widerstandsfähigeren Golde seine Zuflucht genommen. Die Apparate neuerer Konstruktion sind daher aus Platinblech gefertigt, auf welches ein ziemlich dickes Goldblech aufgeschweißt ist. Obgleich nun ein ganz außerordentliches Maß an erfinderischem Talent darauf verwendet worden ist, die Apparate so zu bauen, daß sie bei denkbar kleinstem Gewicht eine möglichst große Oberfläche aufweisen und daher sehr große Mengen von Säure bewältigen können, so repräsentiert doch die Aufstellung eines derartigen Apparates für jede Fabrik die Festlegung eines Kapitals, welches in die Hunderttausende geht. Da indessen die Platinpreise seit Jahrzehnten eine immer steigende Tendenz haben, so sind die Fabriken mit ihren Apparaten nicht zu Schaden gekommen, sondern haben häufig durch den Verkauf ihrer alten, unbrauchbar gewordenen Konzentrationseinrichtungen noch einen erklecklichen Gewinn eingeheimst. In neuerer Zeit sind auch Apparate erfunden worden, in denen das Platin nahezu oder sogar ganz unterdrückt ist. Der wichtigste dieser Apparate ist der aus der in Frankreich vorkommenden Volvic-Lava gefertigte und mit Porzellaneinsätzen ausgerüstete Apparat von Keßler, in welchem die langsam herabrieselnde Säure durch einen ihr entgegengeleiteten Strom stark erhitzter Luft eingedunstet wird.

Eine absolut wasserfreie Schwefelsäure von der genauen Zusammensetzung H_2SO_4 läßt sich selbst in diesen Konzentrationsapparaten nicht erhalten. Doch wissen wir

heute, daß, wenn man die höchstkonzentrierten Produkte des Bleikammerprozesses einer sehr starken Kälte aussetzt, Kristalle sich ausscheiden, welche aus vollkommen wasserfreier Schwefelsäure bestehen. Diese Tatsache ist zum Gegenstande eines Patentes gemacht worden, nach welchem die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron höchstkonzentrierte Säure durch Ausfrieren gewöhnlicher Säure darstellt.

Das der Schwefelsäure zugrunde liegende Anhydrid ist das Schwefeltrioxyd, welches im reinen Zustande zuerst von Rudolf Weber dargestellt worden ist. Dasselbe bildet eine sehr leichtbewegliche, ungemein flüchtige Flüssigkeit, deren Darstellung mit den größten Schwierigkeiten verknüpft ist. Wenn daher dieses Anhydrid eine technische Rolle nicht spielen kann, so ist dies um so mehr der Fall bei seinen Verbindungen mit Schwefelsäure. Diese stellen eine Art von partiell anhydrisierter Schwefelsäure dar und werden daher von der neueren Wissenschaft als Pyroschwefelsäuren bezeichnet. Seinen heute noch in der Technik viel gebrauchten älteren Namen „rauchende Schwefelsäure" verdankt dieses Produkt dem Umstande, daß aus ihm schon bei gewöhnlicher Temperatur sich Anhydriddämpfe entwickeln, welche sich mit der Feuchtigkeit der Luft zu dicken Schwefelsäurenebeln verdichten. Diese Säuren sind daher, wenn sie an offener Luft sind, stets von einem dicken weißen Rauch umgeben. Je nach den Mengenverhältnissen, in welchen Schwefelsäure H_2SO_4 und Schwefeltrioxyd SO_3 in derartigen Säuren miteinander verbunden sind, lassen sich verschiedene Pyroschwefelsäuren unterscheiden, und mehrere derselben sind auch als einheitliche Körper isoliert worden. Am wichtigsten ist die gewöhnliche Pyroschwefelsäure $H_2S_2O_7$, welche schöne dicke durchsichtige, auch bei gewöhnlicher Temperatur noch beständige Kristalle bildet. Diese Säure ist als sogenannte feste rauchende Schwefelsäure in großen Mengen im Handel. Ihr Gehalt an Anhydrid berechnet sich zu 45%. Die im Handel befindlichen schwächeren rauchenden Säuren sind flüssig und als Lösungen der Pyroschwefelsäure $H_2S_2O_7$ in wasserfreier Schwefelsäure aufzufassen. Auch Säuren von noch höherem Gehalt an Anhydrid finden sich im Handel und sind meistenteils flüssig. In ihnen haben wir die Gemische der verschiedenen höheren Pyroschwefelsäuren vor uns. Schließlich sei noch bemerkt, daß das einfachste und vielfach benutzte Verfahren zur Herstellung einer absolut wasserfreien Schwefelsäure darin besteht, der gewöhnlichen sogenannten englischen Schwefelsäure von 93—95% Gehalt so viel Pyrosäure zuzusetzen, daß ihr Wassergehalt durch das Anhydrid der Pyrosäure vollständig zur Schwefelsäurebildung verbraucht wird.

Rauchende Schwefelsäuren, wenn auch meist nur ziemlich schwache, sind schon seit sehr langer Zeit bekannt, denn sie können ohne alle Mühe bei dem im Anfang dieser Schilderung erwähnten Vitriolölverfahren erhalten werden. Einen sehr umfangreichen Gebrauch machte die ältere Technik von den rauchenden Schwefelsäuren nicht. Ein sehr großer Bedarf für dieselben entstand erst durch die später zu besprechende Schaffung der Alizarin-Industrie im Anfang der siebziger Jahre. Die damals hauptsächlich in Böhmen betriebene Fabrikation der rauchenden Schwefelsäure konnte der Nachfrage nicht mehr genügen; so entstand das Problem der Ausbildung eines neuen Verfahrens zur Gewinnung dieses Produktes, welches gleichzeitig und, wie es scheint, unabhängig voneinander durch Clemens Winkler in Freiberg in Sachsen und Squire & Messel in England gelöst wurde. Beide Erfinder greifen auf die schon ziemlich alte Erfahrung zurück, daß die Oxyde des Stickstoffes durchaus nicht den einzigen Katalysator darstellen, welcher die Verbindung von Schwefeldioxyd mit Sauerstoff zu bewirken vermag. Insbesondere war dies für das feinverteilte metallische Platin schon seit langer Zeit bekannt, und dieser merkwürdige, in so vielen kataly-

tischen Reaktionen verwendbare Körper war es, den man nun benutzte, um aus Schwefeldioxyd und Sauerstoff unter Ausschluß von Wasser Schwefeltrioxyd darzustellen, dessen Dämpfe in Schwefelsäure aufgefangen wurden, wobei diese in Pyroschwefelsäure überging.

Sonderbarerweise gelangte man in diesem in die Mitte der siebziger Jahre fallenden ersten Stadium der neuen Erfindung nicht zu der Idee, die aus den Pyritöfen kommenden Gase, welche Schwefeldioxyd und Sauerstoff im richtigen Mengenverhältnis, allerdings durch einen großen Überschuß Stickstoff stark verdünnt, enthalten, in der angegebenen Weise zu benutzen. Clemens Winkler veröffentlichte sogar die Angabe, daß dies unmöglich sei, und suchte den Grund dafür in der durch den Stickstoff bewirkten starken Verdünnung der Gase. Um ein von anderen Gasen freies Gasgemisch zu erhalten, verfiel man auf den damals viel bewunderten, heute als recht unzweckmäßig erscheinenden Gedanken, eine konzentrierte, nach dem Bleikammerverfahren hergestellte Schwefelsäure zu verdampfen und durch hohe Erhitzung der Dämpfe in ein Gemisch von Schwefeldioxyd, Sauerstoff und Wasserdampf zu zersetzen. Der Wasserdampf wurde dann in der Weise beseitigt, daß man das Gemisch durch einen mit konzentrierter Schwefelsäure berieselten Turm streichen ließ. Die auf solche Weise getrockneten Gase wurden dann durch Rohre geleitet, welche mit Platinasbest gefüllt und mäßig erwärmt waren. Dabei fand die gewünschte Reaktion statt.

Auf solche Weise konnte rauchende Schwefelsäure in ganz beliebiger Menge gewonnen werden, aber sie mußte natürlich im Preise sich wesentlich höher stellen als die gewöhnliche englische Schwefelsäure, die als Rohmaterial der neuen Fabrikation zur Verwendung kam.

Es war einem der genialsten Erfinder auf dem Gebiete der chemischen Technik, dem allzufrüh verstorbenen Direktor der Badischen Anilin- und Sodafabrik Rudolf Knietsch, vorbehalten, durch außerordentlich scharfsinnige und mit wunderbarer Genauigkeit durchgeführte Untersuchungen den Nachweis zu führen, daß Clemens Winkler sich in seinen Angaben über die schädlichen Wirkungen des verdünnenden Stickstoffes der Pyrit-Ofengase geirrt hatte. Allerdings läßt sich aus derartigen Gasen ohne weiteres keine rauchende Schwefelsäure gewinnen, aber der Grund dafür ist ein ganz anderer als der von Clemens Winkler angenommene. Er liegt in dem fast allen Pyriten eigentümlichen Gehalt an Arsen, welches sich bei der Abröstung verflüchtigt und in Form von Arsentrioxyd den Gasen hartnäckig anhaftet, wodurch auch der bekannte größere oder geringere Arsengehalt aller gewöhnlichen Schwefelsäuren des Handels bedingt ist. Das Arsen hat nun die merkwürdige Eigenschaft, die katalytischen Wirkungen des Platins vollkommen aufzuheben; es wirkt, wie Knietsch sich sehr bezeichnend ausdrückte, vergiftend auf das Platin.

Nachdem Knietsch diese Tatsache erkannt hatte, stand der Gewinnung rauchender Säure direkt aus Pyrit-Ofengasen nichts mehr im Wege. Es war dazu nur erforderlich, die Gase vollständig von ihrem Gehalt an Arsen zu befreien. Dies geschieht in der Technik dadurch, daß man sie sorgfältig mit Wasser wäscht. Es wird dabei eine verdünnte Schwefelsäure erhalten, in der sich der gesamte Arsengehalt der Gase sammelt. Die aus den Türmen austretenden Gase dagegen sind frei von Arsen, werden mit Schwefelsäure getrocknet und in geeigneten Apparaten mit Hilfe von Platinasbest in Anhydrid übergeführt. Die Beschaffung des Platinasbestes in der erforderlichen Menge repräsentiert zwar auch für diese Fabrikation die Festlegung gewaltiger Kapitalien in dem kostbaren Edelmetall, aber anderseits ist auch die Wirksamkeit des

Platinasbestes eine unbegrenzte, und es finden kaum irgendwelche Verluste an demselben statt.

Auf solche Weise wurde im Beginn der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts das neue oder sogenannte Kontaktverfahren der Schwefelsäurefabrikation geschaffen, welches insofern im Gegensatz zu dem alten Bleikammerverfahren steht, als es direkt Pyroschwefelsäure erzeugt, aus der gewöhnliche Schwefelsäure beliebiger Konzentration erst durch Verdünnung mit Wasser erhalten wird, während der Bleikammerprozeß umgekehrt nur eine verdünnte Säure zu erzeugen vermag, welche nachträglich durch Eindampfen auf höhere Stärke gebracht wird. In Fabriken, welche, wie es mehrfach der Fall ist, beide Verfahren nebeneinander betreiben, kann die Säure des Bleikammerprozesses durch Zusatz der aus dem Kontaktverfahren stammenden Pyrosäure konzentriert werden, wodurch der ganze Verdampfungsprozeß wegfällt.

Über die Frage, ob das neue Kontaktverfahren billiger arbeitet als der alte Bleikammerprozeß und daher dazu berufen ist, denselben schließlich ganz zu verdrängen, sind die Ansichten heute noch geteilt. Der Bleikammerprozeß ist unzweifelhaft durch seine über ein volles Jahrhundert sich erstreckende Ausübung gut durchgebildet; es stecken ferner in den in Tausenden von Fabriken im Betriebe stehenden Bleikammersystemen so außerordentlich große Kapitalien, daß auf lange Zeit hinaus der Bleikammerprozeß noch nicht verschwinden wird. Aber es wird auch behauptet, daß überall da, wo verdünnte Schwefelsäure in größeren Mengen gebraucht wird, wie dies zum Beispiel in den Düngerfabriken der Fall ist, der Bleikammerprozeß ökonomischer arbeitet als das Kontaktverfahren. Erst die Konzentration der Kammersäure macht das Endprodukt kostspielig. Daher werden heute noch vielfach neue Bleikammersysteme überall da errichtet, wo es sich eben nur um die Gewinnung schwächerer Säure handelt.

Schließlich sei noch erwähnt, daß auch für die Durchführung des Kontaktprozesses der teure Platinasbest keineswegs das einzige uns zu Gebote stehende Mittel ist. Es sind verschiedene ohne Platin arbeitende Kontaktverfahren ersonnen worden, auf deren Einzelheiten aber hier nicht eingegangen werden kann.

DER LEBLANC-PROZESZ

Sobald wir Schwefelsäure, die stärkste aller Säuren, zur Verfügung haben, kann es keine Schwierigkeiten mehr bereiten, beliebige Salze in solcher Weise zu zersetzen, daß die in ihnen enthaltene Säure frei wird, während das ihnen zugrunde liegende Metall in sein Sulfat sich verwandelt. Auf einem solchen Vorgange beruht das erste Stadium des Leblanc-Prozesses. Kochsalz oder Chlorkalium, welche beide als Produkte des Salzbergbaues in unerschöpflicher Menge uns zur Verfügung stehen, werden mit Schwefelsäure behandelt, wobei Salzsäure gasförmig entbunden wird, während Natrium- oder Kaliumsulfat zurückbleibt.

In seiner praktischen Durchführung gestaltet sich der Prozeß nicht ganz so einfach. Die Schwefelsäure ist eine zweibasische Säure, sie reagiert daher nacheinander mit zwei Molekülen der genannten Chloride, wobei zunächst das saure oder „primäre" Alkalisulfat entsteht, aus dem sich erst bei seiner Wechselwirkung mit einem zweiten Molekül Chlorid das neutrale oder normale Salz bildet. Bei beiden Vorgängen wird jeweilig die gleiche Menge Salzsäure entbunden. Dieselben unterscheiden sich aber technisch sehr wesentlich dadurch voneinander, daß der erste bei ganz gelinder Wärme sich vollzieht, während für den zweiten eine der Rotglut nahekommende Erhitzung erforderlich ist, um ihn ganz zu Ende zu führen. Diesen Verhältnissen muß selbstverständlich die erforderliche Apparatur angepaßt sein.

Alter und neuer Sulfatofen der Kunheimschen Fabrik.

Zu Witt: Die chemische Großindustrie.

Tafel V.

Die Sulfatöfen sind daher, wenigstens in ihrer ursprünglichen, noch vielfach in Gebrauch stehenden Form so konstruiert, daß sie in zwei Teile zerfallen. In dem ersten Teile, der sogenannten Pfanne, vollzieht sich die erste Zersetzung. Das entstandene breiförmige Gemisch aus saurem Natriumsulfat und dem noch nicht angegriffenen Kochsalz wird dann in den zweiten Teil des Ofens, die Muffel, hinübergeschoben, in dem bei sehr viel stärkerer Erhitzung der Prozeß sich vollendet. Die Muffel besteht aus feuerfesten Steinen und wird von den Feuergasen umspült. Erst nachdem dieselben den größten Teil ihrer Wärme an die Muffel abgegeben haben, leitet man sie unter die Pfanne, die von ihnen noch genügend erwärmt wird, um ebenfalls in der gewünschten Weise zu arbeiten. Unsere farbige Tafel zeigt eine derartige Anlage. Der auf der rechten Seite befindliche, von einer kegelförmigen Haube überragte Apparat ist die Pfanne, an welche sich links die Muffel anschließt.

Für sehr große Betriebe hat man auch sogenannte rotierende Sulfatöfen konstruiert, in welchen das zu verarbeitende Gemisch der direkten Wirkung der Flammengase ausgesetzt wird. In den rotierenden Öfen findet nur insofern eine Trennung der beiden Stadien des Prozesses statt, als das Gemisch von Chlorid und Schwefelsäure durch eine mechanische Beschickungsvorrichtung in den kühlsten Teil des Ofens hineingebracht und von dem vorhandenen mechanischen Rührwerk allmählich bis in den heißesten Teil weitergeschoben wird. Diese Öfen arbeiten nicht wie die alten Handöfen intermittierend, sondern kontinuierlich; es wird ihnen fortdauernd Kochsalz und Schwefelsäure in dem richtigen Verhältnis zugeführt, und das fertige Sulfat wird ebenfalls fortdauernd in Form eines grobkörnigen Pulvers von den Öfen ausgestoßen.

Da sich Kochsalz und Chlorkalium bei dieser Bearbeitung vollkommen gleich verhalten, so besteht für beide nicht der geringste Unterschied in den benutzten Apparaten.

Die in beiden Stadien des Prozesses entbundene Salzsäure ist, wie allgemein bekannt, ein außerordentlich stechend riechendes und heftig wirkendes Gas, welches in Wasser ungemein löslich ist. Eine Lösung von Chlorwasserstoffgas in Wasser von etwa 35 Volumprozent Gehalt ist die käufliche Salzsäure, welche in der Weise hergestellt wird, daß man die Gase der Sulfatöfen systematisch in Wasser auffängt.

Früheren Jahrhunderten war die Salzsäure wenig vertraut; so kam es, daß man bei der Begründung der Soda-Industrie für sie keine rechte Verwendung hatte. Man ließ sie in die Luft entweichen, bemerkte aber bald die große Gefahr, die damit verbunden war. Das Gas wurde von den atmosphärischen Niederschlägen gelöst, es entstanden Regen von deutlich saurer Reaktion, welche im weiten Umkreise der Fabriken die Vegetation vernichteten. Da nun diese Industrie zuerst in England sich entwickelte, so glaubte man in der Weise sich helfen zu können, daß man durch Erbauung sehr hoher Schornsteine das Gas in hohe Schichten der Atmosphäre emporführte, in der Annahme, daß es dann sehr stark verteilt und von den Winden bis über das Meer hinausgetragen werden würde. Das war die Zeit der hohen Schornsteine, welche damals als Wunder der Technik angestaunt wurden. Der berühmteste derselben, derjenige der Tennantschen Fabrik in der Nähe von Glasgow, existiert heute noch. Das aber, was man mit diesen hohen Schornsteinen hatte erreichen wollen, blieb unerreicht, und die Klagen über die durch die Salzsäure verursachten Schäden hörten nicht auf, sondern vermehrten sich mit dem Wachsen der neu geschaffenen Industrie, bis endlich das Parlament eingreifen mußte, indem es die sogenannte Alkali-Akte schuf. Dieselbe wird für immer unvergeßlich bleiben, weil sie

den allerersten Anfang einer gesetzlichen Regelung und Überwachung der Industrie darstellt und zum erstenmal den Grundsatz zur Geltung bringt, daß die Industrie ihrer Nachbarschaft keinen Schaden zufügen darf. Die moderne Gesetzgebung aller Länder hat diesen Grundsatz sich zu eigen gemacht und in sehr umfangreichen Bestimmungen bis in seine letzten Konsequenzen durchgearbeitet. Heute anerkennt ihn auch die Industrie in seinem vollen Umfange, und es besteht nirgend ein Zweifel darüber, daß die Gesetze, welche die Entlassung schädlicher Nebenprodukte in die Nachbarschaft der Fabriken verbieten, segensreich auf die Industrie selbst zurückgewirkt haben, indem sie die erste Anregung zur Aufarbeitung aller Nebenprodukte gaben, ein Prinzip, durch welches die chemische Industrie erst groß geworden ist.

Die vollkommene Absorption der bei der Sulfatherstellung sich entwickelnden Salzsäuredämpfe erscheint uns heute als eine Kleinigkeit, erforderte aber doch ganz erhebliche Anstrengungen von seiten der Industrie, ehe sie in wirklich befriedigender Weise gelang. Es bietet nämlich nicht die geringsten Schwierigkeiten, reines Salzsäuregas vollkommen in Wasser aufzufangen. Ganz anders aber ist die Sachlage, wenn dieses Gas, wie dies bei der Sulfatfabrikation namentlich mit Hilfe von mechanischen Öfen der Fall ist, durch große Mengen von nicht in Wasser löslichen Feuergasen stark verdünnt ist. Aus diesem Grunde ist auch die Absorption der Salzsäure aus den früher allein üblichen Handöfen viel leichter als die Bewältigung der den mechanischen Öfen entströmenden Gasmassen.

Die Gase werden zunächst durch sogenannte Bonbonnen oder Tourils geleitet, große Steinzeugtöpfe von eigentümlich eiförmiger Gestalt, welche in Reihen von bis zu vierzig Stück hintereinander verbunden sind. Das Gas strömt auf diese Weise von einem Topf in den anderen und trifft dabei auf die Oberfläche der Flüssigkeit, mit welcher die Bonbonnen zur Hälfte gefüllt sind. Diese Flüssigkeit ist Wasser. Indem sich nun die Salzsäure in demselben löst, sinkt die an der Oberfläche entstehende spezifisch schwerere Lösung zu Boden und macht frischem, von unten emporsteigendem Wasser Platz. Damit nun aber dieser Prozeß systematisch sich vollziehe, sind die Bonbonnen nicht nur oben durch die Gasrohre miteinander verbunden, sondern auch in der Höhe ihres Flüssigkeitsspiegels durch kleinere Rohre, in welchen der flüssige Inhalt der Töpfe aus einem in den anderen fließt. Und zwar bewegt sich der Strom der Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung zu dem Strom des Gases; während dieses in den ersten Topf ein- und aus dem letzten austritt, wird die Flüssigkeit in den letzten hineingespeist und kommt aus dem ersten in Form einer hochkonzentrierten gesättigten Salzsäure heraus. Das Austrittsrohr jedes einzelnen Topfes reicht bis an den Boden des Gefäßes, so daß immer die spezifisch schwersten und somit mit Salzsäure am stärksten angereicherten Teile des Inhaltes einer Bonbonne die Speisung für die nächste bilden.

Aber selbst wenn man eine so große Zahl von Bonbonnen wie die eben genannte hintereinanderschaltet, gelingt es doch nicht, die allerletzten Spuren von Salzsäure aus den immer verdünnter werdenden Gasen zu absorbieren. Für diesen Zweck ist noch eine weitere Vorkehrung erforderlich, welche nach ihrem Erfinder als der Schaffnersche Turm bezeichnet wird. Ein solcher Turm besteht aus gasdicht aneinandergefügten, in einem Balkengerüst aufgebauten mächtigen Steinzeugringen, welche in ihrem Innern mit sogenannten Absorptionskörpern gefüllt sind. Diese letzteren sind ebenfalls aus Steinzeug gefertigt und können die Form kleiner Ringe, gerillter Kugeln oder Prismen erhalten. Wesentlich ist nur, daß sie den durchstreichenden Gasen eine möglichst große Oberfläche darbieten. Der Turm wird von oben mit Wasser

berieselt, welches sich auf der Oberfläche des Inhaltes verteilt. Unten werden in den Turm die aus der letzten Bonbonne austretenden Gase eingeleitet. Indem nun das Wasser diesen Gasen die letzten Reste der darin enthaltenden Salzsäure entzieht, entsteht eine sehr verdünnte Säure, welche ihrerseits zur Speisung des Systems von Bonbonnen dient.

Wir haben in der geschilderten Absorption der Salzsäure ein sehr anschauliches Beispiel für das sogenannte Gegenstromprinzip, welches in der gesamten chemischen Industrie immer und immer wieder in tausendfältig wiederholter und stets den Verhältnissen angepaßter Weise uns entgegentritt und immer das Ziel verfolgt, eine Auflösung gasförmiger oder fester Körper in Flüssigkeiten systematisch so durchzuführen, daß das noch frischeste und daher reichste Lösegut mit der am meisten angereicherten Lösung in Berührung gebracht wird, während das frischeste und daher am energischsten wirkende Lösemittel das am meisten erschöpfte Lösegut bespült.

Die Salzsäure, welche früher als ein sehr lästiges Nebenprodukt des geschilderten Prozesses betrachtet wurde, mit dem man nichts anzufangen wußte, ist uns längst in unzähligen Verwendungen unentbehrlich geworden. Heute ist es der Bedarf an Salzsäure, welcher uns zwingt, die Sulfatfabrikation aufrechtzuerhalten, auch wenn wir nicht beabsichtigen, das erhaltene Sulfat nach dem Leblanc-Verfahren weiterzuverarbeiten. In Deutschland wird beispielsweise die Herstellung von Leblanc-Soda überhaupt nicht mehr durchgeführt, und auch die Fabrikation von Leblanc-Pottasche ist im Aussterben. Die Darstellung von Natrium- und Kaliumsulfat durch Zersetzung der Alkalichloride mit Schwefelsäure wird dagegen nach wie vor in großem Umfange betrieben, weil wir unbedingt die dabei entstehende Salzsäure gebrauchen, und weil die inzwischen aufgekommenen anderweitigen Salzsäureverfahren doch noch nicht so vorteilhaft arbeiten, wie man es wünschen könnte. Das Sulfat, welches früher das Hauptprodukt dieses Prozesses bildete, ist heute zum Nebenprodukt geworden, welches seinen Absatz hauptsächlich in der Glasindustrie findet, wo es aber sehr wohl und eigentlich mit Vorteil durch Soda ersetzt werden könnte, wenn nicht eben das Sulfat notwendigerweise abgesetzt und daher den Glasfabriken besonders vorteilhaft angeboten werden müßte.

Da die für die Sulfatfabrikation benutzte Glover-Schwefelsäure durch den Flugstaub der Pyritöfen verunreinigt und daher eisenhaltig ist, da ferner die Pfannen der Sulfatöfen aus Gußeisen bestehen, da endlich auch das rohe Steinsalz, mit welchem die Sulfatfabriken vielfach arbeiten, eisenhaltig ist, so enthält das fertige Sulfat nicht unerhebliche Mengen von Eisenoxyd, durch welche es gelb oder rötlich gefärbt wird. Ein solches Sulfat liefert in der Glasfabrikation ein dunkelgrün gefärbtes Glas; es kann daher nur in den Flaschenfabriken Verwendung finden. Für die Herstellung von farblosem Glas ist eisenfreies Sulfat erforderlich. Dieses wird aus eisenfreiem Siedesalz in Öfen hergestellt, deren Pfannen eine Ausfütterung von dickem Bleiblech besitzen, und es wird für seine Bereitung Schwefelsäure angewendet, welche nicht im Glover, sondern in Bleipfannen konzentriert worden ist.

Für die weitere Durchführung des Leblanc-Prozesses wird das in der geschilderten Weise gewonnene Sulfat, welches für diesen Zweck aber auch eisenhaltig sein darf, wie schon erwähnt, mit Kohle und Kalkstein zusammengeschmolzen. Der Chemismus der dabei eintretenden Reaktion ist ebenfalls bereits besprochen worden: die Kohle reduziert das schmelzende Sulfat zu Sulfid, welches letztere mit dem Kalkstein sich zu Soda und Kalziumsulfid umsetzt. Diese Umsetzung ist vollständig, weil das entstehende Kalziumsulfid unschmelzbar und in den geschmolzenen übrigen Bestand-

teilen des Gemisches unlöslich ist. Die fertige Sodaschmelze hat daher eine breiförmige Konsistenz und ist blasig aufgetrieben, weil bei der hohen Temperatur der Schmelze ein gewisser Teil des überschüssig zugesetzten Kalksteins in Kalziumoxyd und Kohlendioxyd zerfällt, welches letztere in Blasen in der Schmelze sich verteilt.

Der Leblanc-Sodaprozeß gehört, wenigstens in Deutschland und allen anderen Ländern, mit Ausnahme von England, nahezu schon der Geschichte an, indem er so gut wie gar nicht mehr ausgeübt wird. Wir können uns daher bei der Schilderung der erforderlichen Apparate sehr kurz fassen, zumal da dieselben sehr einfach sind.

Der früher ausschließlich verwendete Handsodaofen ist ein kleiner Flammenofen mit seitlichen Arbeitstüren. Die Sodaschmelze muß fleißig durchgekrückt werden, wenn sie gut gelingen soll. Bei der in dem Ofen herrschenden Weißglut bedeutet dies eine schwere Arbeit und die Beschäftigung zahlreicher Hilfskräfte. Mit dem Steigen der Löhne und der wachsenden Tendenz zur Erleichterung schwerer Arbeit hat man sich bemüht, den Prozeß so umzugestalten, daß die Bearbeitung der Schmelze durch maschinelle Hilfsmittel erfolgt. Diesen Bestrebungen verdanken die mechanischen Sodaöfen oder „Revolver" ihre Erfindung, deren sinnreiche Konstruktion sie befähigt hat, das Verfahren, für welches sie ursprünglich konstruiert wurden, zu überleben und in zahlreichen anderen Schmelzprozessen der chemischen Industrie eine erweiterte Verwendung zu finden.

Ein Revolver leistet dieselbe Arbeit wie eine ganze Batterie von Handsodaöfen. Er besteht aus einem zylindrischen Gehäuse aus dickem Kesselblech, welches durch umgelegte Ringe von Eisenbahnschienen versteift ist. Diese Ringe dienen aber nicht nur zur Verstärkung des Apparates, sondern auch zu seiner Bewegung, denn mit ihnen liegt der Ofen auf den Rollen eines mechanischen Unterbaues. Sobald diese Rollen durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt werden, dreht sich der Ofen um seine eigene Achse. In seinem Innern ist der Zylinder mit feuerfesten Steinen ausgemauert, und an seinen beiden Stirnseiten hat er kreisförmige zentrale Öffnungen. Mit der einen derselben schließt er sich an eine ähnliche Öffnung an einen Schornstein an, welcher die Feuergase abführt, die Öffnung auf der anderen Stirnseite kommuniziert dagegen mit einer feststehenden Feuerung, deren Flammen in den Ofen hineinschlagen. Es ist ganz klar, daß auf solche Weise der Revolver in seinem Innern beliebig hoch erhitzt und dabei fortwährend um seine eigene Achse gedreht werden kann. Das eingeführte Schmelzgut fließt zunächst als grobkörniges Pulver, nach Eintritt des Schmelzens als ein zäher Brei in den Ofen, und man kann dadurch, daß man die Schnelligkeit der Umdrehung nach Belieben verändert, eine stärkere oder weniger intensive Durchmischung der Schmelze zuwege bringen.

Ist die Schmelze beendigt, so braucht sie nicht, wie bei den Handöfen, im glühenden Zustande mit Hilfe von Schaufeln herausgezogen zu werden, sondern man öffnet ganz einfach eine in der Mantelfläche des Revolvers eingesetzte Tür, läßt denselben dann abermals eine halbe Umdrehung ausführen und den glühenden Inhalt in einen unter den Apparat durchfahrenden Zug von eisernen Karren herausströmen.

Die erkaltete Schmelze bildet poröse Blöcke, welche in Stücke zerspringen und auch noch etwas zerschlagen werden, um sie dann der Auslaugung zu unterwerfen. Diese geschieht in den Shanksschen Laugebatterien, Serien von eisernen, mit einem Siebboden versehenen Kästen, in welche das Laugegut hineingebracht wird, während das Wasser aus einem Kasten in den anderen strömt. Auch hier wird wiederum das Gegenstromprinzip angewandt, weshalb die Kästen in solcher Weise durch Rohre miteinander verbunden sind, daß man jeden von ihnen zum ersten machen und die an-

deren der Reihe nach folgen lassen kann. Der in der Rohschmelze enthaltene, durch Zersetzung des überschüssigen Kalksteins entstandene Ätzkalk wirkt in sehr wichtiger Weise bei der Laugerei, denn in dem Maße, wie er von dem Wasser berührt wird, löscht er sich und schwillt dabei auf, so daß dadurch immer wieder neue Oberflächen des Laugegutes der lösenden Wirkung des Wassers dargeboten werden. Irgendwelche mechanische Rührung oder Bewegung ist somit nicht notwendig. Aber dieser Ätzkalk bewirkt auch eine chemische Nebenreaktion, indem er einen Teil der in Lösung gegangenen Soda kaustiziert, d. h. in Ätznatron überführt. Während also die Rohsodaschmelze Ätznatron nicht enthält, findet sich dasselbe in recht reichlicher Menge in der aus ihr bereiteten Rohsodalauge. Wenn man nun diese zur Gewinnung der Soda eindampfen will, so muß man das Ätznatron zunächst wieder in Soda überführen, was dadurch zu geschehen pflegte, daß man die Lauge durch eiserne Türme rieseln ließ, in welchen Kalkofengase, welche große Mengen von Kohlensäure enthalten, emporströmen. Man nannte das das „Karbonisieren" der Lauge, und erst wenn dasselbe stattgefunden hatte, konnte die Lauge eingedampft werden. Sobald dieselbe eine genügende Konzentration erreichte, begann wasserfreie Soda sich auszuscheiden. Diese wurde mit Schaufeln aus der Lauge herausgekrückt, bis schließlich die ganze Lauge eingedampft war. Auch für diese Arbeit sind im Laufe der Zeit mechanisch arbeitende Apparate, die sogenannten Thelenschen Pfannen, konstruiert worden, welche für andere Zwecke heute noch vielfach benutzt werden.

Auch hier hat es sich wieder gezeigt, daß das, was zu einer gewissen Zeit als ein Übelstand empfunden wurde, nämlich das Kaustischwerden der Rohsodalauge, unter veränderten Verhältnissen als ein Vorteil sich erweisen konnte. Als nämlich die Sodafabriken dazu übergingen, Ätznatron, sogenannte kaustische Soda, in großem Maße herzustellen, hatten sie vor den Konsumenten dieses Produktes, welche sich früher ihre Natronlauge dadurch selbst bereiteten, daß sie fertige Soda mit Ätzkalk kaustizierten, den Vorteil voraus, daß sie gleich Rohsodalauge benutzen konnten und auf solche Weise nicht nur das Eindampfen derselben ersparten, sondern ihr Rohmaterial bis zu einem gewissen Grade schon kaustiziert hatten, so daß sie die Kaustizierung nur noch mit geringem Aufwand von Ätzkalk zu vollenden brauchten.

Die auf solche Weise entstehende Natronlauge findet einen sehr starken Absatz, aber da sie nur etwa 40 % Ätznatron und 60 % Wasser enthält, so ist der Transport der Lauge auf große Entfernungen unvorteilhaft, und man ging daher dazu über, Ätznatron in festem Zustande in den Handel zu bringen. Da aber dieses Produkt an freier Luft Wasser und Kohlensäure anzieht und dabei zu einem schmierigen Brei zerfließt, so mußte ihm eine geeignete Form gegeben werden, ehe man es in den Welthandel bringen konnte. Dies geschah in sehr sinnreicher Weise so, daß man das geschmolzene Ätznatron in geschlossene zylindrische Gefäße von ganz dünnem Eisenblech eingoß, in welchen es zu einem festen harten Block von etwa 500 kg Gewicht erstarrte. Die Außenseite dieser Blöcke ist durch das umgebende Eisenblech, welches bei seiner geringen Stärke fast gar keine Transportkosten verursacht, vor der Berührung mit der Luft vollständig geschützt. So läßt sich diese „Trommelsoda" auf die allerweitesten Entfernungen, nach China, Indien, Australien, kurz, in die ganze Welt verschicken. England hat aus diesem Artikel von jeher eine besondere Spezialität gemacht und tut es bis auf den heutigen Tag.

Der bei der Kaustizierung der Rohsodalauge entstehende kohlensaure Kalk kann durch Brennen wieder in Ätzkalk verwandelt werden, zum Eindampfen der Lauge dienen große schmiedeeiserne Pfannen. Wenn die Lauge sehr konzentriert wird, so

scheiden sich alle in ihr enthaltenen Verunreinigungen freiwillig aus und bilden einen Bodensatz, von welchem die überstehende ganz reine Lauge abgezogen werden kann. Die Herstellung des Ätznatrons aus Rohsodalauge bedeutet daher gleichzeitig eine weitgehende Reinigung des Materials, und die Trommelsoda des Handels ist ein Produkt von ganz bemerkenswerter Freiheit von irgendwelchen Beimengungen. Das letzte Eindampfen der hochkonzentrierten Lauge geschieht in eigentümlichen konischen Kesseln aus Gußeisen. Aus der Lösung entsteht allmählich ein Schmelzfluß. Wenn das Entweichen von Wasserdampf vollständig beendigt ist, läßt man das geschmolzene Ätznatron sofort in die beschriebenen Blechtrommeln fließen. Die handgroße Eingußöffnung wird nach dem Erstarren des Blockes durch eine passende runde Eisenplatte verschlossen.

Die Verpackung und der Versand der kaustischen Soda in Trommeln hat bei aller Bequemlichkeit auch Nachteile. Es ist für den Konsumenten nicht ohne weiteres die Antwort auf die Frage gegeben, wie er es machen soll, um einen massiven, eine halbe Tonne wiegenden Block von Ätznatron aus einem Blechgefäß mit handgroßer Öffnung herauszubekommen, welches den Inhalt vollständig umspannt. In der Tat kann man das feste Ätznatron nur so herausbekommen, daß man die eiserne Hülle mit Meißeln zerschneidet und ablöst, wobei man zweckmäßigerweise vorher den noch umhüllten Block mit schweren Hämmern so zerschlägt, daß er in Stücke zerspringt. Würde man dies erst mit dem entkleideten Block tun, so würden die Splitter des ätzenden Produktes herumfliegen und vielen Schaden anrichten. Handelt es sich darum, das Ätznatron in Wasser zu lösen, um auf diese Weise Lauge herzustellen, so kann man das Ätznatron auch ohne Zerstörung der eisernen Hülle aus der Trommel herausbekommen, indem man diese „ausbläst", d. h. auf den Kopf stellt und in das kleine Eingußloch einen Dampfstrahl hineinleitet. Das Ätznatron löst sich dann in dem kondensierten Dampf und fließt als höchstkonzentrierte Lauge in ein untergestelltes Eisengefäß.

Derartige Verhältnisse machen die Trommelsoda und auch die Trommelpottasche — denn das Gesagte gilt alles für Ätzkali genau so wie für Ätznatron — zu einem für den Kleinverbrauch und Kleinhandel wenig geeigneten Produkt. Aber gerade der Kleinhandel vermag in seiner weiten Erstreckung ungeheure Quantitäten solcher allgemein anwendbaren Fabrikate aufzunehmen. Aus diesem Grunde sind mehrere große Alkalifabriken dazu übergegangen, ihre kaustischen Alkalien nicht bloß in Trommeln zu verpacken, sondern einen Teil ihrer Produktion nach dem Erstarren in gut verschlossenen Mühlen zu mahlen. Das erhaltene feine Pulver wird in Blechbüchsen von größerem oder geringerem Inhalt eingefüllt, welche zugelötet ähnlich wie Konservenbüchsen in den Handel kommen. Der Konsument hat auf diese Weise den Vorteil, daß er eine ganz bestimmte, fertig abgewogene Menge Ätzkali kauft und durch Öffnen der Büchse und Einschütten ihres Inhaltes in eine abgemessene Menge Wasser sofort sich eine Ätzlauge von ganz bestimmter Konzentration verschaffen kann. In dieser Form haben die Ätzalkalien sich ein außerordentlich weites Absatzgebiet namentlich in den von den Zentren der Zivilisation weit entlegenen Gegenden erobert. Für einen Kolonisten irgendwo in Südafrika oder Amerika ist es von unschätzbarem Vorteil, die Möglichkeit zu haben, aus dem ihm in reichlicher Menge zur Verfügung stehenden Fett seiner Schlachttiere sich von Zeit zu Zeit selbst eine Portion Seife herstellen zu können. Durch die Verwendung fester Ätzalkalien kann er die erforderliche Menge Ätzlauge so konzentriert sich zubereiten, daß er das Fett nicht einmal mit der Lauge zu kochen braucht, sondern durch „kalte Verseifung" bei ganz gelinder

Wärme zu seinem Ziele gelangt. Im europäischen Handel hat das Ätzalkalipulver in verlöteten Blechbüchsen nicht den Erfolg gehabt, den man dafür erwartete. Für uns ist es noch bequemer, entweder fertige Lauge aus nahegelegenen chemischen Fabriken zu beziehen, oder wenn wir feste Ätzalkalien brauchen, dieselben in der altherkömmlichen Form kleiner Stäbchen zu benutzen, von denen man sich beliebige Mengen abwägen kann.

DAS SOLVAY- UND DAS ENGEL-PRECHT-VERFAHREN

Das im Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts emporgekommene Solvay- oder Ammoniaksoda-Verfahren beruht auf einer Reaktion, welche fast ebenso lange bekannt ist und nicht viel später für die Gewinnung von Soda vorgeschlagen wurde als der Leblanc-Prozeß. Aber zahlreiche und in großem Maßstabe unternommene Versuche zur Durchführung dieses Verfahrens in England sowohl wie in Frankreich schlugen fehl. Namentlich nachdem der hervorragende französische Chemiker Schloesing die ihm von Napoleon III. zu diesem Zwecke zur Verfügung gestellte Summe von 1 Million Franken verbraucht hatte, ohne daß es ihm gelingen wollte, das Verfahren betriebsfähig zu machen, schien es mit aller Sicherheit erwiesen, daß es für alle Zukunft unbrauchbar sei. Erst das Genie eines Solvay, dem freilich auch die inzwischen veränderte Lage der Technik zustatten kam, gelang es, die vorhandenen Schwierigkeiten zu überwinden und damit einen Erfolg zu erringen, der vielleicht als der größte bezeichnet werden muß, den die chemische Technik je erlebt hat.

Die chemischen Grundlagen des Ammoniaksodaprozesses sind außerordentlich einfach. Sie sind gegeben durch die Tatsache, daß das Natriumbikarbonat ein verhältnismäßig schwerlösliches Salz ist. Versetzt man daher eine gesättigte Kochsalzlösung mit Ammoniumbikarbonat, so findet eine allerdings nur partielle Wechselzersetzung statt, ein Teil des Natriumchlorids wird in Natriumbikarbonat übergeführt, welches sich ausscheidet, während das gebildete Ammoniumchlorid gelöst bleibt. Trennt man nun das ausgeschiedene Bikarbonat von der Lauge, so kann man dasselbe durch bloßes Erhitzen, wobei Wasser und Kohlendioxyd entweichen, in Soda verwandeln. Aus der abgeschiedenen Lauge aber läßt sich das benutzte Ammoniak dadurch wiedergewinnen, daß man sie mit der nötigen Menge Ätzkalk versetzt und destilliert und das flüchtig fortgehende Ammoniak auffängt. Zum Auffangen benutzt man natürlich wiederum eine gesättigte Kochsalzlauge; leitet man in diese nach Beendigung der Ammoniakaufnahme Kohlensäure, so bildet sich aufs neue Ammoniumbikarbonat, welches sich mit dem Kochsalz wieder in der beschriebenen Weise umsetzt. So kann der Prozeß unbegrenzt weitergeführt werden, indem das einmal in Gebrauch genommene Ammoniak immer wieder in denselben zurückkehrt. Von der benutzten Kohlensäure wird jeweilig die Hälfte in der hergestellten Soda aus dem Prozeß entfernt, die andere Hälfte aber entwickelt sich gasförmig beim Erhitzen des zunächst erzeugten Bikarbonats und kann daher in den Prozeß zurückkehren. Die fehlende Menge Kohlensäure wird erzeugt durch Glühen von Kalkstein in Öfen, der dabei entstehende gebrannte Kalk dient zur Zersetzung des in den Rückstandslaugen enthaltenen Salmiaks und dadurch zur Wiedergewinnung des Ammoniaks.

Als Rohmaterialien des Prozesses sind somit nur erforderlich Kochsalz und Kalkstein, von denen das erstere das Natrium, der zweite die Kohlensäure liefert. Beide Körper sind in geradezu unerschöpflichen Mengen vorhanden und daher zu Preisen

erhältlich, welche eigentlich nur den Förderungskosten gleichkommen. Als Erzeugnisse werden erhalten zu guten Preisen absetzbare Soda und eine kochsalzhaltige Chlorkalziumlauge, welche in den entstehenden Mengen keine Verwendung hat und daher als wertloser Abfall bezeichnet werden muß. Das in den Prozeß immer wiederkehrende Ammoniak sollte eigentlich nur eine einmalige Kapitalanlage repräsentieren. In Wirklichkeit ist dies nicht der Fall, sondern es muß bei der großen Flüchtigkeit des Ammoniakgases mit einem gewissen Ammoniakverlust gerechnet werden, der bei jeder neuen Durchführung des Prozesses zu ersetzen ist. Gerade der Umstand, daß der Apparatenbau einer früheren Zeit die Ammoniakverluste nicht auf das erforderliche Minimum herabzudrücken vermochte, in Verbindung mit der Tatsache, daß das Ammoniak früher höher bewertet wurde, als es heute der Fall ist, war die Ursache des anfänglichen Scheiterns aller Bestrebungen auf diesem Gebiete.

Aber damit sind die wesentlichen Gesichtspunkte für die technische Durchführung dieses Prozesses in großem Maßstabe noch nicht erschöpft. Gerade bei diesem Prozesse spielt die Energetik der chemischen Vorgänge, welche man früher in weit geringerem Maße berücksichtigte als heute, eine sehr große Rolle. Wenn wir Kohlensäuregas in eine wässerige Ammoniaklösung einleiten, so werden durch die Bildung des Ammoniumbikarbonats erhebliche Wärmemengen entbunden, und die Temperatur der Flüssigkeit steigt. Anderseits aber sind alle Bikarbonate, also auch das hier in Betracht kommende Ammonium- und Natriumbikarbonat, nur bei niederer Temperatur beständig, und außerdem wächst die Löslichkeit des Natriumbikarbonats mit steigender Temperatur. Es wird also durch die von dem Prozeß selbst entwickelte Wärmetönung einem möglichst weitgehenden Verlauf des Prozesses entgegengearbeitet. Bei der Durchführung solcher Arbeiten im kleinen Maßstabe sind die Wärmeverluste durch Ausstrahlung nach außen so bedeutend, daß die schädliche Wirkung der Reaktionswärme nicht stark zur Geltung kommen kann. Handelt es sich aber um die Bewältigung gewaltiger Flüssigkeitsmengen, so wird die entbundene Wärme verhängnisvoll, und dies um so mehr, da die rasche Abkühlung großer Flüssigkeitsmengen nicht nur sehr schwierig, sondern auch sehr kostspielig ist, wenn man sie nicht in ganz rationeller Weise durchführt.

In der technischen Bearbeitung dieser Frage ist außerordentlich viel geistvolle Erfindung zur Geltung gekommen, und dicke Bände ließen sich mit der Schilderung der in der Ammoniaksodafabrikation benutzten Apparate füllen. Im allgemeinen aber kann man sagen, daß die von Solvay, der als erster zum Erfolge gelangte, eingeschlagenen Bahnen sich auch auf die Dauer als die gangbarsten erwiesen haben, während die konkurrierenden Systeme allmählich aus der Technik verschwunden sind.

Auch die vielen Apparate des Solvay-Systems können hier nicht eingehend besprochen werden. Wir müssen uns darauf beschränken, das Prinzip hervorzuheben, welches Solvay fast allen seinen Konstruktionen zugrunde legte. Es ist dies das schon erwähnte Gegenstromprinzip. Solvay führte sowohl die Sättigung der Flüssigkeit mit den benutzten Gasen wie auch die Absorption der bei dieser Sättigung sich entwickelnden Wärme schrittweise in sogenannten Kolonnenapparaten durch, in welchen die Flüssigkeiten von Etage zu Etage strömen, in jeder etwas mehr Gas aufnehmen und etwas von ihrer Wärme abgeben. Die kühlsten Flüssigkeiten kommen mit den stärkst erschöpften Gasen in Berührung und besitzen daher noch eine energische Wirkung auf dieselben; die stärkst erwärmten Flüssigkeiten kommen in den untersten Kammern der Kolonnen an und unterliegen daher der stärksten kühlenden Wirkung der an ihnen emporsteigenden kalten Luft oder des etwa benutzten Kühlwassers.

Trotz des beispiellosen Erfolges des Ammoniaksodaprozesses, trotz der geradezu märchenhaften finanziellen Erfolge desselben wird eine gerechte Kritik nicht verschweigen dürfen, daß das Verfahren als solches eine recht unvollkommene Lösung eines chemischen Problems darstellt. Das als Rohmaterial benutzte Kochsalz wird nur zum Teil in das erstrebte Endprodukt, die Soda, umgewandelt. Eine größere Menge desselben bleibt in den wegfließenden Chlorkalziumlaugen gelöst und ist ebenso wie der Chlorgehalt des tatsächlich verarbeiteten Kochsalzes verloren. Nur der Umstand, daß Kochsalz sowohl wie Kalkstein zu den sehr wenigen Naturprodukten gehört, welche wirklich im strengen Sinne des Wortes als unerschöpflich gelten können, macht ein solches verschwenderisches Umgehen mit diesen Gaben der Natur verzeihlich und verhindert, daß sich dasselbe durch finanzielle Mißerfolge rächt. Außerdem haben die Vertreter dieser Industrie das, was sie in ihrem Rohmaterialverbrauch sündigen, wieder gutgemacht durch die beispiellose Geschicklichkeit, mit welcher sie die Stätten ihrer Tätigkeit zu wählen und ihre Fabriken einzurichten wußten. Hier ist wirklich die Berücksichtigung jeglicher Ersparnis an Transport- und Förderkosten bis auf die äußerste Spitze getrieben und damit die in den chemischen Grundlagen des Verfahrens bedingte Verschwendung durch die weiseste Sparsamkeit in der Ausnutzung der technischen Hilfsmittel gutgemacht worden. Bis auf den heutigen Tag spinnen sich ferner die Versuche fort, die Ablaugen des Ammoniaksodaprozesses in geeigneter Weise nutzbar zu machen, wenn auch die ausgearbeiteten Verfahren immer nur für einen geringen Bruchteil dieser Laugen gewinnbringend angewandt werden können.

Auf Kaliumsalze lassen sich, wie schon erwähnt, die Prinzipien des Ammoniaksodaprozesses nicht anwenden. Es würde sich dies schon durch den weit höheren Wert der Kaliumverbindungen verbieten, bei welchen die beschriebene Verschwendung des Rohmaterials undurchführbar wäre. Aber außerdem liegt die Löslichkeit der in Frage kommenden Salze, Ammoniumbikarbonat, Kaliumbikarbonat und Ammoniumchlorid, so nahe beieinander, daß bei der Sättigung einer Chlorkaliumlauge mit Ammoniak und Kohlensäure sich so gut wie gar kein Kaliumbikarbonat ausscheidet. Die auftretende Temperaturerhöhung würde bei der Durchführung im großen den Prozeß vollkommen verhindern. Aber auch hier ist Abhilfe geschaffen worden durch ein Verfahren, dessen Prinzipien von Wöhler angegeben, von dem französischen Chemiker Engel zuerst in größerem Maßstabe angewandt und neuerdings von den Chemikern des Staßfurter Industriebezirks, vor allem durch Precht, zu vollem Erfolge geführt worden sind. Es genügt, diese Prinzipien hier kurz anzudeuten. Sie bestehen bei der ursprünglichen Form des Verfahrens darin, daß, wenn man Magnesiumbikarbonat in wässeriger Lösung mit Chlorkalium in Berührung bringt, eine partielle Wechselzersetzung stattfindet. Es entsteht ein sehr schwer lösliches wasserhaltiges Doppelsalz aus Kaliumbikarbonat mit Magnesiumkarbonat, welches sich ausscheidet. Trennt man dasselbe von der Mutterlauge und erhitzt es, so entweichen neben Wasserdämpfen drei Viertel der in dem Salz enthaltenen Kohlensäure, indem das Kaliumbikarbonat die Hälfte, das Magnesiumkarbonat aber die Gesamtmenge seiner Kohlensäure verliert. Aus dem zurückbleibenden Produkt kann man nun mit Wasser Pottasche ausziehen, während Magnesia zurückbleibt, die durch erneute Behandlung mit Kohlensäure wieder in Magnesiumbikarbonat verwandelt werden kann.

Diese Grundlagen sind in der neueren Durchbildung des Prozesses sinnreich ausgestaltet worden. Durch das Studium der verschiedenen Magnesiumkarbonate ist es möglich geworden, die Zersetzung des zuerst gebildeten Doppelsalzes nicht bis zur

Rückbildung von gebrannter Magnesia treiben zu müssen, sondern durch bloße Erhitzung wässeriger Lösungen Magnesiumkarbonate zurückzuerhalten, die sich durch Verteilung in frischer Chlorkaliumlauge und erneute Sättigung mit Kohlensäure mit geringerer Mühe wieder verwenden lassen. Auch dieser Prozeß gestaltet sich so zu einem sehr einfachen Verfahren, bei welchem Chlorkalium als Rohmaterial verbraucht wird, der intermediär benutzte Überschuß an Kohlensäure und ein Teil der benutzten Magnesia immer wieder in den Prozeß zurückkehrt, während eine der erzeugten Pottaschemenge äquivalente Menge von Magnesia in Form von wertlosem Chlormagnesium zurückbleibt.

Der ganze Prozeß hat, wie man sieht, eine Bedeutung bloß in Verbindung mit der Staßfurter Kaliindustrie, bei welcher ja fortdauernd schon für die Gewinnung des Chlorkaliums aus dem wichtigsten der Staßfurter Salze, dem Karnallit, die Verarbeitung ungeheurer Mengen von Laugen stattfindet, in denen Chlorkalium und Chlormagnesium nebeneinander enthalten sind und voneinander getrennt werden müssen. Da nun die Staßfurter Industrie als ihr größtes Problem die Nutzbarmachung der riesigen in ihr auftretenden Mengen von Chlormagnesium bearbeitet, so ist sie längst auch dazu übergegangen, in Anlehnung an den Weldon-Pechiney-Prozeß einen Teil ihres Chlormagnesiums durch Behandlung mit überhitztem Wasserdampf in Salzsäure und Magnesia zu zerlegen und so in der Fabrikation von Salzsäure eine lohnende Verwertung wenigstens eines Teils ihres Reichtums an Chlormagnesium zu suchen. In der bei diesem neuen Salzsäureprozeß, der schon einen großen Teil der in Deutschland benutzten Salzsäure liefert, als Nebenprodukt entstehenden Magnesia hat sie das Rohmaterial für die Durchführung der Pottaschefabrikation nach dem Engel-Precht-Verfahren. So greift gerade hier alles schön ineinander, während die Engelsche Methode der Pottaschefabrikation noch nicht mit dem Leblanc-Verfahren konkurrieren konnte, solange sie auf die aus natürlichem Magnesit gewonnene Magnesia angewiesen war.

DIE ELEKTROCHEMISCHE INDUSTRIE

Das heutige Gleichgewicht der anorganisch-chemischen Großindustrie beruht zum großen Teil auf der in den letzten zwanzig Jahren erfolgten Einführung und Ausgestaltung elektrolytischer Arbeitsmethoden. Aber auch hier haben wir es mit heißumstrittenen Problemen zu tun, welche mit dem höchsten Aufwand an Erfindungsgeist und sinnreicher geduldiger Arbeit verfolgt werden mußten, ehe auf den vielfach seit langer Zeit bekannten wissenschaftlichen Grundlagen gewinnbringende Betriebe aufgebaut werden konnten.

Daß der elektrische Strom sowohl die Alkalichloride als auch die Alkalihydroxyde in ihre Bestandteile zu zersetzen vermag, das wissen wir seit den Zeiten des unsterblichen Humphrey Davy, der auf diesem Gebiete die grundlegenden Untersuchungen durchführte. Einem nicht minder großen Meister unserer Wissenschaft, nämlich Robert Bunsen, gelang es, diesen Weg in vielfach modifizierter Weise für die Gewinnung von Metallen gangbar zu machen, die uns bis dahin unerreichbar geblieben waren. Aber auch von Bunsens Untersuchungen war noch ein weiter Schritt bis zu dem, was wir heute als Alkali-Elektrolyse bezeichnen und als eine der schwerwiegendsten Errungenschaften der modernen Technik schätzen.

Was Bunsen in zahlreichen Fällen gelang, nämlich die Zerlegung geschmolzener Chloride durch den elektrischen Strom in ihre Elemente, das hat sich für die Chloralkalien bis auf den heutigen Tag kaum verwirklichen lassen, wesentlich deshalb, weil

die Schmelztemperatur derselben zu hoch liegt. Dagegen machte sich das Kommen einer neuen Epoche dadurch bemerkbar, daß die Bunsensche Methode in großem Maßstabe auf die Halogenverbindungen gewisser Metalle angewandt wurde, welche früher im technischen Maßstabe nicht dargestellt worden waren. Es sind da in erster Linie Aluminium, Magnesium und später auch Kalzium zu nennen, welche heute in beliebiger Menge zugänglich sind und sich bedeutsame Stellungen in der Technik erobert haben. Die Fabrikation dieser Metalle gehört aber mehr dem Gebiete der erweiterten Metallurgie an und mag daher hier nur gestreift werden.

Das große Problem blieb: die Bearbeitung der Alkalichloride durch das neue Hilfsmittel elektrischer Starkströme. Da sie im geschmolzenen Zustande sich nicht bearbeiten ließen, so blieb nur die Behandlung ihrer wässerigen Lösungen übrig. Unterwirft man eine Lösung von Kochsalz oder Chlorkalium der Wirkung eines kräftigen elektrischen Stromes, so bemerkt man sofort eine energische Reaktion. An der Anode entwickelt sich Chlor, und in der Nähe der Kathode verrät das Auftreten einer stark alkalischen Reaktion sowie die Entwicklung von Wasserstoffblasen den Vorgang, der sich abgespielt hat. Das im ersten Moment entbundene Alkalimetall hat sofort das vorhandene Wasser zersetzt und sich in Alkalihydroxyd verwandelt, während der dabei entstandene Wasserstoff entweicht. Aber dieser Vorgang bleibt nicht für die Dauer bestehen, das Alkalihydroxyd diffundiert in der Flüssigkeit, wird von dem anodischen Chlor angegriffen und in Hypochlorit verwandelt. Von den sonstigen Nebenerscheinungen, Polarisation und dergleichen, soll hier gar nicht die Rede sein.

Es gibt nun zwei Hilfsmittel, den geschilderten Vorgang technisch auszunutzen; entweder wir können die Elektrolyse in siedendheißer Lösung sich abspielen lassen, dann geht das gebildete Hypochlorit in Chlorat über, und dieses kann auf Grund seiner Beständigkeit und Schwerlöslichkeit schließlich gewonnen werden. Die Sache läuft dann darauf hinaus, daß das Alkalichlorid durch den Sauerstoff des vorhandenen Wassers unter gleichzeitiger Wasserstoffentwicklung oxydiert worden ist. Die zweite Möglichkeit besteht in der Anwendung des uralten Kunstgriffes elektrochemischer Arbeit: der Anbringung eines Diaphragmas, welches die an der Anode und Kathode auftretenden Produkte getrennt hält und ihre Wechselwirkung verhindert. Dann wird in dem Anodenraum gasförmiges Chlor auftreten, welches gewonnen werden kann; im Kathodenraum wird sich Alkalihydroxyd und gasförmiger Wasserstoff bilden, die man ebenfalls zunutze machen kann.

Beide Wege sind beschritten worden, und auf beiden stellten sich zunächst große Schwierigkeiten ein, welche schließlich aber doch überwunden worden sind. Zeitlich kam die elektrolytische Chloratgewinnung zuerst zur vollkommenen Ausbildung. Sie hatte allerdings zunächst mit der Angreifbarkeit der benutzten Elektroden sowie mit anderen unliebsamen Nebenerscheinungen zu kämpfen, bis man schließlich entdeckte, daß der ganze Vorgang viel gleichmäßiger verläuft, wenn man der als Elektrolyt dienenden gesättigten Alkalichloridlösung eine gewisse Menge von Alkalichromat zusetzt, welches als eine Art Sauerstoffüberträger katalytisch wirkt und dabei selbst nicht verbraucht wird, sondern immer wieder in den Prozeß zurückkehrt.

Die auf solche Weise regelmäßig gewordene Industrie der Chlorate hat sich hauptsächlich in Gegenden angesiedelt, in welchen reichliche Wasserkräfte eine sehr billige Gewinnung des erforderlichen elektrischen Stromes gestatten. Sie blüht heute in Gebirgsgegenden, welche früher keine nennenswerte chemische Industrie besaßen, in der Schweiz, im französischen Jura, in den Pyrenäen und in Schweden. Sie erzeugt die früher sehr kostspieligen Chlorate zu so billigen Preisen, daß die rein chemischen

Methoden, welche früher denselben Zwecken dienten, vollständig verlassen worden sind. England, früher das Land des billigen Chlors und daher die Heimat der älteren chemischen Chloratindustrie, bezieht heute seinen Bedarf an diesen Salzen aus den genannten, auf elektrolytischem Wege arbeitenden Ländern.

Nun ist allerdings diese Fabrikation, in so großem Maßstabe sie heute auch betrieben wird, gar nicht zu vergleichen mit dem Umfange, den die andere Form der Elektrolyse der Chloralkalien, bei welcher die Hydroxyde neben freiem Chlor die Produkte sind, anzunehmen vermag. Denn hier handelt es sich um die großen Bedarfsartikel der ganzen Welt und um einen Wettbewerb mit einer rein chemischen Industrie, welche man schon als Großindustrie bezeichnete, als sie noch nicht den hundertsten Teil ihres heutigen Umfanges besaß.

Für die Lösung dieses Problems ist es, wie schon gesagt, erforderlich, die Kathode und Anode der elektrolytischen Zellen durch ein passendes Diaphragma zu trennen. Aber in der Auffindung eines solchen lag die größte Schwierigkeit der Aufgabe. Die Versuche und Vorschläge, welche in dieser Richtung gemacht worden sind, lassen sich nicht zählen, und immer wieder scheiterten sie an dem Umstande, daß es nicht gelang, ein in großem Maßstabe verarbeitbares Material zu finden, welches gleichzeitig dem Chlor der Anode und dem ätzenden Alkali der Kathode auf die Dauer Widerstand zu leisten vermochte. Schließlich aber haben sich doch drei verschiedene wirtschaftlich durchführbare Lösungen des Problems gefunden, und es wäre schwierig, zu sagen, welche von ihnen die geistvollste ist. Auch ist es heute noch nicht entschieden, welche sich auf die Dauer als die beste und vorteilhafteste bewähren wird.

Zu voller Entwicklung gelangte zunächst das sogenannte Griesheimer Verfahren. Hier besteht das Diaphragma aus Zement, der aber durch einen Kunstgriff porös gemacht ist. Dieser Kunstgriff besteht darin, daß das Zementpulver, aus welchem die Diaphragmen gefertigt werden sollen, nicht mit Wasser, sondern mit einer gesättigten, durch Salzsäure etwas angesäuerten Kochsalzlösung angerührt wird. Der langsam abbindende Zement entzieht der Kochsalzlösung ihr Wasser und scheidet das Kochsalz in ganz kleinen Kriställchen aus, welche den Zementkörper gleichmäßig durchsetzen. Laugt man denselben nun nach dem Erhärten mit Wasser aus, so wird das Kochsalz gelöst, und an der Stelle der Kriställchen bleibt ein Netz außerordentlich feiner Poren.

Das später, aber ebenfalls zu großem Erfolge durchgebildete Aussiger Glockenverfahren löst das Problem in vielleicht noch einfacherer Weise. Es ordnet nämlich die Anode und Kathode horizontal übereinander an, die zwischenliegende Schicht von Chloridlauge bildet das erforderliche Diaphragma. Durch eine passende Gestalt, welche man den Apparaten gibt, sorgt man dafür, daß die aufsteigenden Blasen von Wasserstoff und von Chlor sich nicht mischen können, und fängt diese Gase in glockenförmigen Gefäßen auf, aus denen sie dann weitergeleitet werden.

Die dritte Lösung des Problems, das Castner-Verfahren, benutzt ein Diaphragma ganz besonderer Art, welches gleichzeitig auch als Kathode wirkt. Es ist dies eine Schicht von metallischem Quecksilber, in welchem sich das im ersten Moment abgeschiedene Alkalimetall sofort auflöst. Wäscht man das auf solche Weise entstandene Amalgam mit Wasser, so wird dieses durch das Alkalimetall zersetzt, und es entsteht Alkalilauge, während das Quecksilber zu neuem Gebrauch frei wird. Zum Zwecke einer kontinuierlichen Durchführung des Vorganges wird die ganze Arbeit in flachen, in mehrere Zellen geteilten Trögen vorgenommen, welche in schaukelnder Bewegung erhalten werden. Das Quecksilber fließt fortwährend aus dem Anoden-

raum in die benachbarte Abteilung, wo es durch Waschen mit Wasser seinen Alkaligehalt abgibt, um dann bei der Senkung des Troges wieder in den Anodenraum zurückzukehren.

Natürlich kann in dieser kurzen Beschreibung nur das Prinzip angedeutet werden, welches den drei Verfahren zugrunde liegt. Das in allen dreien in konzentrierter Gasform entbundene Chlor wird in derselben Weise verwertet, wie es mit dem auf chemischem Wege gewonnenen Chlor schon früher geschah. Dagegen ist die Aufarbeitung der Kathodenflüssigkeit eine etwas verschiedene bei den drei Verfahren. Das Castner-Verfahren liefert ohne weiteres eine verdünnte Alkalilauge, welche nur noch eingedampft zu werden braucht. Das Griesheimer Verfahren dagegen und das Glockenverfahren liefern, da ja das Alkalihydroxyd in der gesättigten Chloridlösung entsteht, eine Flüssigkeit, welche neben dem neugebildeten Produkt auch noch einen Überschuß an Chlorid enthält. Aus Gründen, die hier nicht erörtert werden können, ist es nicht möglich, die Elektrolyse so lange fortzusetzen, bis sämtliches vorhandene Chlorid vollständig gespalten ist; sondern der Prozeß muß, lange bevor dies der Fall ist, unterbrochen werden. Die Sache gestaltet sich in der praktischen Durchführung so, daß die gesättigten Chloridlösungen durch die Apparate hindurchfließen und dabei einen gewissen Gehalt an Alkalihydroxyd aufnehmen. Dieses muß von dem unzersetzt gebliebenen Chlorid getrennt werden. Es geschieht dies in der Weise, daß die erhaltene Lauge in großen Vakuumapparaten eingedampft wird. Sobald sie eine bestimmte Konzentration erreicht, wird das noch gelöste Alkalichlorid von dem sehr viel leichter löslichen angereicherten Hydroxyd in fester Form ausgeschieden oder „ausgesalzen". Dieser Vorgang läßt sich, wenn man nur das Eindampfen weit genug treibt, so vollständig durchführen, daß die schließlich erhaltene konzentrierte Ätzlauge so gut wie vollständig chlorfrei ist.

Heute kann die Elektrolyse der Alkalichloride als ein so vollständig gelöstes technisches Problem gelten, daß als einziger demselben noch anhaftender Übelstand nur noch die Schwierigkeit besteht, die gewaltigen Mengen Chlor unterzubringen, welche dabei erhalten werden. Der Bedarf der Menschheit an Chlor steht nicht in äquivalentem Verhältnis zu ihrem Bedarf an Alkalien, die chemische Industrie der heutigen Zeit ist daher eifrig bemüht, nach neuen Verwendungsweisen des von ihr in so überreichem Maße gewonnenen Chlors zu suchen.

Als Erweiterung dieser Erfolge ist schließlich noch eine andere der alten Davyschen grundlegenden Beobachtungen zum Gegenstand industrieller Ausnutzung gemacht worden. Auch das Natriummetall wird heute ausschließlich auf elektrolytischem Wege gewonnen, aber meist nicht durch die, wie bereits erwähnt, schwer durchführbare Zersetzung des geschmolzenen Kochsalzes, sondern dadurch, daß man das bei viel niedrigerer Temperatur (etwa 325°) schmelzende Ätznatron der Wirkung des elektrischen Stromes unterwirft. Auf diese Weise ist auch dieses früher sehr kostspielige und nur in dem Kleinbetrieb wissenschaftlicher Laboratorien verwendbare Metall zu einem der Produkte der Großindustrie geworden, welches manche wichtige und interessante Verwendung gefunden hat.

Eine der wichtigsten dieser Verwendungen besteht in der Herstellung hochprozentiger Zyanalkalien, von denen ungeheure Mengen im Goldbergbau verbraucht werden. Das nach der alten Liebigschen Methode durch Schmelzen von Blutlaugensalz mit Pottasche gewonnene Zyankalium enthält große Mengen von Kaliumzyanat, von welchem es auf einfache Weise nicht befreit werden kann. Fügt man einem derartigen Produkte die erforderliche Menge metallisches Natrium hinzu, so wird das Zyanat zu

Zyanür reduziert, und ein hochprozentiges Produkt ist das Resultat. Übrigens beschränkt sich die Industrie der Zyanalkalien keineswegs auf das genannte alte Verfahren, sondern es sind neuerdings auch synthetische Methoden ausgebildet worden, nach denen schon ein großer Teil der in immer wachsender Menge erforderlichen Zyanüre hergestellt wird.

DIE ELEKTROTHERMISCHE CHEMISCHE INDUSTRIE

Von den eigentlichen elektrolytischen Arbeitsmethoden sind die elektrothermischen Errungenschaften der chemischen Industrie zu unterscheiden, bei welchen zwar ebenfalls der elektrische Strom Verwendung findet, jedoch nicht in seiner spezifisch chemischen Wirkung, sondern wesentlich als Quelle sehr hoher Temperaturen. Auf diesem Gebiete ist man sogar früher zu greifbaren Resultaten gelangt als bei der technischen Verwertung der Elektrolyse.

Schon im Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde von Acheson durch sehr starke elektrische Erhitzung eines Gemisches von Sand und Kokegrus das Siliziumkarbid dargestellt und unter dem Namen „Karborundum" in die Technik eingeführt. Durch seine enorme Härte, welche derjenigen des Diamanten nahekommt, errang sich dieses Produkt eine wichtige Stelle als Schleifmittel für die verschiedensten Zwecke. Es ist der heutigen Industrie schon ganz unentbehrlich geworden und wird, wie der Korund oder Schmirgel, den es vielfach ersetzt hat, in der Form von Pulver oder zu Scheiben und Steinen agglomeriert angewandt. Acheson hat auf dem betretenen Pfade weitergearbeitet und namentlich auch die Bedingungen erforscht, unter denen sich die gewöhnliche Kohle durch sehr starke Erhitzung in Graphit verwandelt. Auch der künstliche Acheson-Graphit ist ein wichtiges Handelsprodukt geworden, welches dem immer seltener werdenden natürlichen Graphit in vielen seiner Verwendungen Konkurrenz macht.

Willson, ebenfalls ein amerikanischer Erfinder, erhielt durch elektrische Erhitzung von Kohle mit Kalk ein Produkt, welches beim Übergießen mit Wasser große Mengen von brennbarem Gas entwickelte. Dasselbe erwies sich als identisch mit dem in wissenschaftlichen Arbeiten bereits früher gelegentlich beobachteten Kalziumkarbid, dessen Fabrikation im großen nunmehr unternommen wurde und sich sehr bald wiederum in den mit großen Wasserkräften ausgestatteten Ländern, in den Alpengebieten und namentlich in Norwegen zu großer Bedeutung entwickelte. Heute wird das Kalziumkarbid in Hunderttausenden von Tonnen dargestellt, und das aus ihm durch bloße Berührung mit Wasser entwickelte Azetylen, von welchem ein Kilo Karbid bis zu 300 l zu liefern vermag, ist eine wichtige Quelle sehr starken Lichtes geworden, welches in vielen Fällen Anwendung zu finden vermag, in welchem die gewöhnlichen Methoden der Intensivbeleuchtung versagen.

Ein ähnliches Produkt, dem aber bis jetzt der erhoffte Erfolg noch nicht zuteil geworden ist, ist das Kalziumhydrür, welches durch Berührung mit Wasser nicht Azetylen, sondern reinen Wasserstoff entwickelt.

Durch Behandeln von erhitztem Kalziumkarbid mit Stickstoff (welcher zu diesem Zwecke nach dem Verfahren von Linde durch Fraktionierung verflüssigter Luft dargestellt wird) wird Kalziumzyanamid gebildet. Dieser Vorgang ist von Frank und Caro technisch verwertet und zur Grundlage einer ziemlich bedeutenden Industrie gemacht worden, welche ihr Produkt unter dem Namen „Kalkstickstoff" in den Handel bringt. Die Verwendung desselben in der Landwirtschaft als Düngemittel, für welche

es zunächst empfohlen worden ist, hat nicht den Erfolg gezeitigt, den man erwartete, weil sich mitunter auch Giftwirkungen bei den gedüngten Pflanzen zeigten. Aber das Kalziumzyanamid ist ein so reaktionsfähiger Körper, daß es sicherlich auch noch viele andere, lohnendere Verwertungen finden wird. Schon jetzt werden einige derselben in den Großbetrieb übertragen, wie beispielsweise seine Überführung in Zyanüre durch Zusammenschmelzen mit Pottasche, am besten unter Zugabe von Kalziumkarbid, sowie die Herstellung von synthetischem Ammoniak durch Behandeln des Kalkstickstoffes mit überhitztem Wasserdampf.

DIE INDUSTRIE DER NITRATE

Weitaus die großartigste Errungenschaft der Einführung elektrothermischer Arbeitsmethoden in die chemische Industrie ist die Synthese der Salpetersäure und ihrer Abkömmlinge auf diesem Wege. In ihr haben wir eine Bereicherung unserer Technik von solcher Tragweite und Bedeutung zu erblicken, daß nicht nur eine völlige Verschiebung des Gleichgewichts der chemischen Industrie durch sie zu erwarten steht, sondern daß sie sogar in der Lösung der wichtigsten Fragen der Volkswirtschaft und für die Fortexistenz des ganzen Lebens auf der Erdoberfläche eine entscheidende Rolle zu spielen berufen ist. Ein etwas näheres Eingehen auf diese neugeschaffene Industrie erscheint daher gerechtfertigt, und dabei mag auch die bisher noch nicht besprochene ältere Form dieses wichtigen Zweiges der chemischen Industrie mit erledigt werden.

Der Stickstoff, welcher in molekularem Zustande vier Fünftel des Luftmeeres bildet, in welchem wir leben, und von dem uns daher ganz unberechenbar große Mengen zur Verfügung stehen, ist bekannt durch seine Gleichgültigkeit gegen chemische Beeinflussungen aller Art. Die zahllosen chemischen Wirkungen der Luft (Atmung, Verbrennung usw.) sind fast immer auf den den geringeren Anteil derselben bildenden Sauerstoff zurückzuführen, der Stickstoff bleibt bei ihnen gewöhnlich unverbraucht zurück. Erst in neuerer Zeit hat diese Regel eine Einschränkung erfahren. Wir wissen, daß manche Pflanzen befähigt sind, den Luftstickstoff direkt zu absorbieren, und die Erkenntnis dieser Tatsache hat ein neues Licht auf früher rätselhafte Fragen der Pflanzenphysiologie geworfen.

Aber selbst als man noch so gut wie gar kein Mittel kannte, den Luftstickstoff zu nützlicher Arbeit heranzuziehen, konnte man sich doch der Erkenntnis nicht verschließen, daß es gewisse Bedingungen geben muß, unter welchen auch dieser träge Geselle angreifbar wird. Denn man weiß längst, daß gebundener Stickstoff ein integrierender Bestandteil der Eiweißstoffe, also der eigentlichen Träger alles Lebens ist. Man mußte sich sagen, daß dieser gebundene Stickstoff nur aus der Atmosphäre stammen konnte, und den Schlüssel zu der Frage nach der Assimilation des Stickstoffes hatte uns schon vor mehr als hundert Jahren Cavendish in die Hand gegeben, als er erkannte, daß unter dem Einfluß elektrischer Entladungen die beiden Bestandteile der Luft sich zu Oxyden des Stickstoffes und schließlich unter Mitwirkung des Wassers zu Salpetersäure zu vereinigen vermögen. Ausgehend von dieser Tatsache schuf man die Lehre von dem Kreislauf des Stickstoffes, dessen Weg auch in der belebten Welt schließlich klar erkannt wurde.

Durch die in der Atmosphäre fortwährend sich abspielenden elektrischen Entladungen werden jeweilig kleine, in ihrer Gesamtheit aber riesige Mengen von Salpetersäure gebildet, welche mit den atmosphärischen Niederschlägen auf die Erdoberfläche gelangen und von den Pflanzen gierig aufgenommen werden. Durch ihren

Abbau und ihre Wechselwirkung mit den anderen Produkten des Pflanzenlebens entstehen die Eiweißstoffe, welche nach dem Tode der Lebewesen der Fäulnis anheimfallen, wobei ihr Stickstoff in Form von Ammoniak abgespalten wird. Dieses letztere wird von den in keinem Boden fehlenden Nitrifikationsorganismen verbraucht und wieder in Nitrate verwandelt, welche aufs neue den höheren Pflanzen zur Nahrung dienen können. Die von den Produkten der Pflanzen lebende Tierwelt erhält ihren Stickstoff indirekt durch ihre Nahrung, liefert ihn aber nach dem Tode wieder in Form von Ammoniak an die Allgemeinheit zurück. Durch die stete Neubildung von Nitraten in der Atmosphäre müßte also schließlich eine Anreicherung an gebundenem Stickstoff stattfinden, wenn nicht durch gewisse physiologische Vorgänge dafür gesorgt wäre, daß immer auch ein Teil des Ammoniaks unter Rückbildung von Stickstoff zersetzt wird.

Aus dieser Darstellung ergibt sich, daß unter den Nährstoffen der Pflanzenwelt gebundener Stickstoff, und zwar ebensowohl in Form seiner Sauerstoffverbindung als Salpetersäure wie auch in seiner Wasserstoffverbindung als Ammoniak, eine sehr wichtige Rolle spielt. Alle intensive Landwirtschaft, bei welcher dem Boden durch Kultur mehr abgerungen wird, als er in unkultiviertem Zustande hergeben würde, läuft darauf hinaus, ihm mehr gebundenen Stickstoff zuzuführen, als er im normalen Gange der Welt erhalten würde. Diese Aufgabe ist nur zu lösen, wenn uns unabhängig vom normalen Kreislauf des Stickstoffes weitere Quellen von Stickstoffverbindungen erschlossen werden. Dies geschah zunächst in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch die Entdeckung der südamerikanischen Salpeterfelder, deren Eigenart und Ausbeutung in einem anderen Teile dieses Werkes beschrieben ist. Gegenwärtig wird fast unser ganzer Bedarf an Stickstoffverbindungen, soweit es sich um Oxyde des Stickstoffs handelt, durch einen ins Kolossale gesteigerten Import von chilenischem Natronsalpeter gedeckt, während unser Bedarf an Ammoniak als Nebenprodukt der Verarbeitung der Steinkohle gewonnen wird. Beide Quellen fließen einstweilen noch reichlich, aber beiden gemeinsam ist der Umstand, daß sie den nicht unerschöpflichen Vorräten entstammen, welche in früheren geologischen Epochen des Lebens aufgespeichert worden sind. Nur der Luftstickstoff ist tatsächlich unerschöpflich, und eine dauernde Versorgung der Menschheit mit Mengen von gebundenem Stickstoff, welche über die natürliche Produktion des beschriebenen Kreislaufes hinausgehen, kann nur dann stattfinden, wenn wir Mittel kennen lernen, den Luftstickstoff selbst auf seine Verbindungen zu verarbeiten.

Die Lösung dieser Aufgabe ist die erste große technisch-chemische Errungenschaft, welche das 20. Jahrhundert uns gebracht hat. Die wichtigste Methode der Nutzbarmachung des Luftstickstoffes und gleichzeitig auch die einzige, welche bereits in den Großbetrieb übergegangen ist, besteht in der Verbrennung des Luftstickstoffes mit Hilfe des beigemengten Sauerstoffes durch Erhitzung von Luft auf genügend hohe Temperaturen. Eine solche ist nur möglich durch Anwendung des elektrischen Flammenbogens. Die wichtigen Erfindungen, welche diese Industrie lebensfähig gemacht haben, beziehen sich nicht auf den zugrunde liegenden chemischen Vorgang — dieser war schon seit Cavendish bekannt —, sondern auf die Herstellung einer für den beabsichtigten Zweck geeigneten elektrischen Flamme. Von den vielen auf diesem Gebiete zutage getretenen, eine Fülle von Scharfsinn bekundenden Vorschlägen sollen hier bloß die beiden allerwichtigsten und im großen Maßstabe bereits bewährten genannt werden. Der eine derselben ist der Ofen von Birkeland und Eyde, bei welchem in einem linsenförmig gestalteten, mit feuerfestem Material ausgefütterten Hohl-

Abbildung 6. Gewinnung von Salpetersäure durch Verbrennung des Luftstickstoffs. Elektrische Öfen, System Birkeland-Eyde.

raum eine etwa 2 m im Durchmesser messende, sonnenartig ausgebreitete Flamme erzeugt wird. Dies gelingt dadurch, daß der durch zwei gekühlte metallene Elektroden zugeleitete elektrische Wechselstrom durch einen den Ofen umfassenden Elektromagneten „zerblasen" wird. Es entstehen dadurch in der raschen Folge des Stromwechsels halbkreisförmige Flammenbogen, welche auf den Elektroden entlang laufen, bis sie schließlich erlöschen. Durch die stete Wiederkehr dieser Bogen und dadurch, daß sie infolge des Stromwechsels abwechselnd nach den beiden Seiten der Elektroden sich ausbreiten, kommt eine scheinbar zusammenhängende Flammenscheibe zustande. An dieser Scheibe, deren Temperatur auf etwa 5000° geschätzt wird, vorbei wird die zugeblasene Luft geleitet. Dabei verbrennt ein gewisser Teil des in ihr enthaltenen Stickstoffes mit einem gleichen Volumen Sauerstoff zu Stickoxyd, NO, welches der Luft beigemengt und durch die rasche Abkühlung derselben auf ihrem weiteren Wege vor erneutem Zerfall behütet wird.

Das gleiche Ziel erreicht, aber auf anderem Wege, die zweite dieser wichtigen Erfindungen, das von Schönherr ausgearbeitete Verfahren der Badischen Anilin- und Sodafabrik. Bei diesem wird ebenfalls mit Hilfe von Wechselstrom ein Flammenbogen im Innern eines Rohres gebildet. Gleichzeitig wird ein starker Luftstrom tangential in das Rohr eingeblasen, so daß er in demselben in Form eines spiraligen Wirbels emporsteigt. Der Flammenbogen, welcher zunächst zwischen einer am unteren Ende des Rohres eingesetzten Elektrode und der leitenden Wandung des Roh-

res sich bildete, wird durch den Luftwirbel von der Rohrwand abgelöst und immer länger gestreckt, so daß er schließlich eine Länge von mehreren Metern erreichen kann. Er steht dann ganz ruhig als eine leuchtende Säule im Innern des Rohres und wird von der an ihm vorbeiwirbelnden Luft bestrichen, wobei diese letztere ebenso wie bei dem Verfahren von Birkeland und Eyde durch momentane Erhitzung auf sehr hohe Temperatur partiell verbrannt wird.

Die Resultate sind bei beiden Verfahren annähernd gleich gut, so daß es noch nicht definitiv entschieden ist, welches Verfahren auf die Dauer das herrschende werden wird. Sie werden einstweilen, nachdem eine Einigung zwischen den Patentinhabern und die Gründung großer Gesellschaften zur gemeinsamen Ausnutzung beider Erfindungen stattgefunden hat, nebeneinander im großen Maßstabe betrieben. Die Weiterverarbeitung der nach einer oder der anderen Methode elektrisierten Luft ist dieselbe, sie läuft immer darauf hinaus, daß die stickoxydhaltige Luft unter Nutzbarmachung ihres Wärmegehaltes so weit abgekühlt wird, daß das zunächst entstandene Stickoxyd ein weiteres Atom Sauerstoff freiwillig aufnimmt und dabei in Stickstofftetroxyd, N_2O_4, übergeht. Dieses ist befähigt, mit Wasser unter Bildung von Salpetersäure sich umzusetzen, wobei die Hälfte des ursprünglichen Stickoxydes regeneriert wird; letzteres oxydiert sich aufs neue zu Tetroxyd, welches wieder Salpetersäure liefert, und so geht der Prozeß weiter, bis schließlich alles Stickoxyd verbraucht ist. Die stete Rückbildung von Stickoxyd macht den Vorgang zu einer typischen Zeitreaktion, d. h. zu einer solchen, welche unter allen Umständen einen gewissen Zeitraum erfordert, ehe sie endgültig ablaufen kann. Hieraus folgt wieder, daß wenn der aus dem Ofen kommende Luftstrom kontinuierlich seines Gehaltes an Stickstoffoxyden beraubt werden soll, dazu sehr große Apparate erforderlich sind, zu deren Durchfließung die Luft diejenige Zeit braucht, welche durch die Zeitreaktion geboten ist. Die Industrie wurde auf solche Weise vor ganz neue Aufgaben gestellt, sie mußte Apparate konstruieren von einer Größe, von der man sich früher nichts hätte träumen lassen. Es sind ungeheure aus Granitplatten erbaute, vollkommen gasdichte Türme, welche, zu Batterien zusammengeschaltet, die Absorption der Salpetersäure besorgen. Sobald diese letztere einmal, wenn auch in verdünntem Zustande, gebildet ist, ist es nicht mehr schwierig, sie entweder in Nitrate verschiedener Art oder auch in Säure höherer Konzentration überzuführen.

Der größte und wohl auch schwer zu beseitigende Fehler des neuen Verfahrens besteht darin, daß die Ausbeuten an gebundenem Stickstoff im Vergleich zu der aufgewandten elektrischen Energie verhältnismäßig gering sind. Das Verfahren ist daher nur dort durchführbar, wo uns diese Energie zu ungewöhnlich billigem Preise zur Verfügung steht. Dies ist der Fall in Norwegen, dem Lande der ungeheuren Wasserkräfte, und daher hat sich auch in diesem Lande die neugeschaffene Industrie angesiedelt. Sie befindet sich daselbst schon seit einigen Jahren in großem und auch wirtschaftlich befriedigendem Betriebe und ist auf dem Wege, sich auf das Vielfache ihres jetzigen Umfanges zu vergrößern, während sie an anderen Orten über das Versuchsstadium kaum hinausgekommen ist. In Norwegen wird die zunächst erhaltene verdünnte Salpetersäure mit dem im Lande selbst vorkommenden Kalkstein abgesättigt, und die erhaltene Lauge von Kalziumnitrat wird mit Hilfe derjenigen Wärme, welche den aus den Öfen kommenden Gasen innewohnt, zur Trockne verdampft. Das so erhaltene exportfähige Produkt ist in der Technik der europäischen Industrieländer bereits wohlbekannt und vielfach unter dem Namen „Norge-Salpeter" eingeführt. Der Kalziumgehalt desselben ist für die Zwecke der Landwirtschaft nicht

Abbildung 7. Gewinnung von Salpetersäure durch Verbrennung des Luftstickstoffs. Blick in das Gebäude, in welchem die aus Granitplatten erbauten Absorptionstürme aufgestellt sind.

nur unschädlich, sondern günstiger als das Natrium, welches bei Düngung mit Chilesalpeter den Feldern zugeführt und von manchen Pflanzen (z. B. Zuckerrüben) schlecht vertragen wird.

Auch für die Herstellung mancher von der Industrie erforderten Nitrate ist der synthetische norwegische Salpeter dem Chilesalpeter vorzuziehen. Dagegen ist für die Gewinnung hochkonzentrierter Salpetersäure, wie die chemische und die Sprengstoffindustrie sie in großen Mengen brauchen, der Chilesalpeter besser geeignet. Die Gewinnung der Salpetersäure aus diesem letzteren geschieht seit langer Zeit in gußeisernen Retorten durch Zersetzung mit Schwefelsäure. Die entweichenden Dämpfe von Salpetersäure werden in Kühlschlangen aus Steinzeug zu flüssiger Säure verdichtet, während die nebenher in geringer Menge auftretenden gasförmigen niederen Oxyde des Stickstoffs in berieselten Steinzeugtürmen in verdünnte Salpetersäure übergeführt werden, in genau derselben Weise, wie es in sehr viel größerem Maßstabe in der neugeschaffenen Stickstoffindustrie mit der elektrisierten Luft geschieht.

Auch die Überführung des Luftstickstoffs in Ammoniak ist bereits gelungen. Ja, es hat sich gezeigt, daß Stickstoff direkt mit Wasserstoff, und zwar ebenfalls mit Hilfe elektrischer Entladungen, zu Ammoniak vereinigt werden kann, wenn man vorher beide Gase miteinander mischt und unter hohem Druck verdichtet. Dieses erst ganz vor kurzem von Professor Haber in Karlsruhe erfundene Verfahren bedarf noch der weiteren Ausgestaltung, ehe man über seinen technischen Wert sich wird eine Vorstellung machen können. Auch indirekte Verfahren der Ammoniakbildung, welche darauf

beruhen, daß gewisse Metalle wie Lithium, Magnesium, Titan und andere befähigt sind, sich mit molekularem Stickstoff zu verbinden, worauf dann die entstehenden Nitride mit Wasser unter Bildung von Ammoniak zersetzt werden, sind in der letzten Zeit vielfach bearbeitet worden, aber auch sie sind zurzeit noch nicht spruchreif.

DIE INDUSTRIEN DER SILIKATE

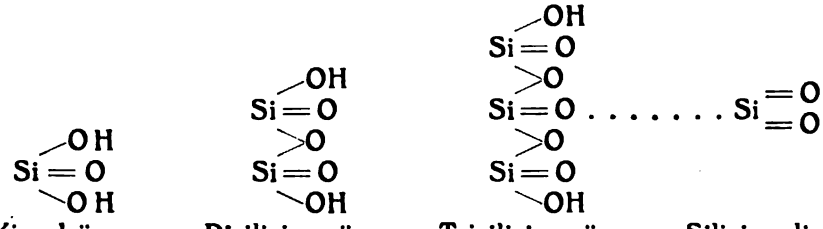
Die rein wissenschaftliche Chemie hat, wie allbekannt, aus den einigen siebzig Elementen, mit welchen sie arbeitet, eins, nämlich den Kohlenstoff, von jeher ausgeschieden und gesondert von allen übrigen betrachtet. Die so entstandene Scheidung in anorganische und organische Chemie, welche durch die ganz besonderen Eigenschaften des Kohlenstoffes gerechtfertigt ist, muß auch die chemische Technologie aufrechterhalten, und so werden denn die auf organischer Grundlage aufgebauten chemischen Industrien gesondert von den übrigen am Schluß dieser Darstellung behandelt werden. Aber die chemische Technologie muß noch einen Schritt weiter gehen als die reine Wissenschaft. Sie muß auch dem dem Kohlenstoff am nächsten verwandten Element, dem Silizium, eine Sonderstellung zuerkennen, weil dasselbe in seinem ganzen technischen Verhalten und namentlich in all den Eigenschaften, welche seine technische Verwertung bedingen, einen vollkommen anderen Charakter zeigt als alle übrigen Elemente. So entsteht das besondere Kapitel von der Technologie der Silikate.

Unter den verhältnismäßig wenig zahlreichen Elementen, aus denen die Erdoberfläche sich zusammensetzt, spielt das Silizium seiner Menge nach wohl die Hauptrolle, denn es ist der Hauptbestandteil der meisten Gesteine und besonders aller Urgesteine. Trotz dieser Tatsache ist aber das Silizium in seiner elementaren Form ein uns äußerst selten begegnender Körper. In der freien Natur kommt es sogar niemals in dieser Form vor, sondern ausnahmslos nur in der Form seiner Sauerstoffverbindung als Siliziumdioxyd SiO_2, welches im Sprachgebrauch unrichtig, aber konsequent als „Kieselsäure", richtiger als „Quarz" bezeichnet wird. Die vollkommene Analogie dieser Substanz mit dem Kohlendioxyd, gewöhnlich Kohlensäure genannt, tritt in den Eigenschaften beider Körper so gut wie gar nicht zutage. Während das letztere ein leichtbewegliches, nur schwer zu einer Flüssigkeit oder einem festen Körper verdichtbares Gas darstellt, ist die Kieselsäure bekanntlich eine der feuerfestesten Substanzen, die wir kennen, im reinsten Zustande tritt sie uns in der bekannten Form des farblosen glasklaren Bergkristalles entgegen. Die trotzdem zwischen beiden Körpern herrschende Analogie ergab sich erst bei einer feineren Untersuchung und braucht in diesen Darstellungen nur gelegentlich gestreift zu werden.

Die allbekannten Eigenschaften des Bergkristalles sind nur zum Teil diejenigen des Siliziumdioxydes, aus dem er besteht, zum anderen Teil aber sind sie nicht Funktionen der chemischen Zusammensetzung, sondern solche der ausgesprochenen Kristallform des Minerals. Es gehören dahin die Eigentümlichkeiten der Lichtbrechung und Polarisation, welche der Bergkristall aufweist; ferner die außerordentliche Sprödigkeit, welche verursacht, daß ganz geringe Temperaturveränderungen, z. B. das Eintauchen in warmes Wasser, leicht schon ein Zerspringen herbeiführen. Heben wir die Kristallform auf, so sind diese Besonderheiten verschwunden, zum Teil sogar in das diametrale Gegenteil verwandelt. So zeichnet sich zum Beispiel gerade dieser Körper dadurch aus, daß er durch Wärme schwächer ausgedehnt wird als irgendein anderer. Sein linearer Ausdehnungskoeffizient beträgt nur 0,0000005, d. h. nur $^1/_{17}$ von dem Ausdehnungskoeffizienten des Platins, welcher unter denen aller Metalle der kleinste

ist. Infolgedessen ist der Quarz im nicht kristallisierten Zustande der gegen Temperaturschwankungen unempfindlichste Körper, den es gibt. Wir werden sehen, daß diese Tatsache technisch von der größten Wichtigkeit ist.

Der Quarz stellt in seiner Eigenschaft als Siliziumdioxyd das Anhydrid der wirklichen Kieselsäure dar, welche in verschiedenen Formen auftreten kann, von welchen uns zunächst die normale Kieselsäure, H_2SiO_3, interessieren muß. Entsprechend der analogen Kohlensäure ist auch sie außerordentlich geneigt, Wasser abzuspalten und in den Zustand des Anhydrids zurückzukehren; aber ähnlich wie es weiter oben für die Schwefelsäure gezeigt worden ist, existieren auch hier sogenannte Pyrosäuren, Zwischenstufen zwischen der typischen Säure und dem Anhydrid. In chemischer Schreibweise formuliert, erscheinen diese Zwischenstufen als Verkettungen mehrerer Kieselsäuremoleküle unter sich, und so kennen wir eine ganze Reihe von „Polysiliziumsäuren", die durch abnehmenden Wasserstoffgehalt von der typischen Säure zum wasserstofffreien Anhydrid hinüberführen. Der Verfasser dieses Aufsatzes, der sich im allgemeinen bemüht hat, in dieser populären Darstellung chemische Strukturformeln zu vermeiden, kann es sich nicht versagen, eine Ausnahme zu machen und die hier geschilderte Sachlage durch Wiedergabe der Formeln der in Betracht kommenden Körper zu illustrieren.



Die Kieselsäure und die Polysiliziumsäuren bilden nun, indem ihr Wasserstoff durch Metalle ersetzt wird, mehrere Reihen von Salzen, welche um so mannigfaltiger sind, als diese Säuren durch ihren zweibasischen Charakter fähig und außerordentlich geneigt sind, Doppelsalze zu bilden, in denen die disponiblen Wasserstoffatome nicht durch ein und dasselbe, sondern durch verschiedene Metalle vertreten werden (s. weiter unten bei Glas).

So kommt es, daß die salzartigen Abkömmlinge der Kieselsäure, welche man unter dem Gesamtnamen der Silikate zusammenfaßt, zahlreicher und mannigfaltiger sind als die irgendeiner anderen Säure. Ihre besondere Wichtigkeit aber erlangen sie dadurch, daß aus ihnen die meisten Gesteine sich zusammensetzen und daß sie somit das eigentliche Baumaterial der Erde sind.

Von den natürlich vorkommenden Silikaten, deren Eigenschaften wie bei der Muttersubstanz, dem Quarz, nur zum Teil Funktionen ihrer chemischen Zusammensetzung, zum anderen Teil aber solche ihrer kristallinischen Struktur sind, soll hier nicht die Rede sein. Sie sind in anderen Kapiteln dieses Werkes wiederholt und zum Teil eingehend behandelt. Hier kommen für uns nur diejenigen Silikate in Betracht, welche durch künstliche Darstellung und Umformung einen Zusammenhang mit der chemischen Industrie gewinnen. Aber auch dieser Zusammenhang basiert

nur zum Teil auf rein chemischen Gesichtspunkten, zum anderen Teil ist er bedingt durch die Erscheinungsformen dieser Substanzen, welche bei den Abkömmlingen des Siliziums sich mehr in den Vordergrund drängen als bei anderen Arten der Materie.

Ein tieferes Verständnis dieser Sachlage ist nur möglich, wenn wir noch einen Augenblick bei der Betrachtung der physikalischen Eigenschaften dieser Körper verweilen.

Die allermeisten Substanzen, welche die Natur hervorgebracht hat, vermögen in den drei verschiedenen Aggregatzuständen aufzutreten, indem sie je nach der obwaltenden Temperatur sich als feste Körper, als Flüssigkeiten oder als Gase darstellen. Die Grenzen dieser Aggregatzustände sind gewöhnlich ziemlich scharf gezogen, bei ganz bestimmten Temperaturen, den Schmelzpunkten, werden feste Körper plötzlich flüssig, und ebenso scharf läßt sich gewöhnlich der Siedepunkt definieren, bei welchem die Flüssigkeiten sich in ein Gas verwandeln. Der Quarz folgt dieser Regel nicht und überträgt diese Eigenart auf alle seine Abkömmlinge. Der Quarz und die von ihm abgeleiteten Silikate besitzen keine scharfen Schmelzpunkte, sondern gehen ganz allmählich aus dem festen in den flüssigen Zustand über. Sie zeigen ein sogenanntes Erweichen, welches sich über Temperaturintervalle von mehreren hundert Graden erstreckt, und selbst in dem Zustande der endlich erreichten Flüssigkeit zeigen sie nicht die leichte Beweglichkeit, welche wir sonst an flüssigen Substanzen zu sehen gewohnt sind, sondern sie sind sirupartig, langsam fließend, ähnlich wie Honig oder manche Harze. Während dieser allmählichen Erweichung wächst ihre Dampfspannung; noch ehe eigentliche Dünnflüssigkeit eingetreten ist, beginnt auch bei nicht scharf definierbarer Temperatur das Sieden dieser Körper, welches wir freilich selten genug beobachten können, da diese Erscheinung für alle Silikate an ganz außerordentlich hohe Temperaturen geknüpft ist. Die Schmelzpunkte und Siedepunkte der Kieselsäure und ihrer Abkömmlinge lassen sich daher nicht fixieren, sondern man kann nur ungefähr die Temperatur angeben, bei denen Schmelzung und Sieden einen gewissen Höhepunkt erreichen. Für den Quarz selbst sind diese Temperaturen mit den gesteigerten Hilfsmitteln unserer Zeit neuerdings genügend scharf bestimmt worden. Er beginnt bei 1600—1700° C deutlich zu erweichen, wird bei etwa 2100° so flüssig, daß er den Gesetzen der Schwere gehorcht und langsam fließt, und schon bei 2200° befindet er sich unter gewöhnlichem atmosphärischem Druck in vollem Sieden, d. h. es bilden sich Blasen seines Dampfes in der Flüssigkeit, und dieser Dampf steigt auch in die umgebende Luft empor. Der soeben mit 1600° angegebene Erweichungspunkt des Quarzes läßt sich natürlich nur dadurch erkennen, daß das Material die Verschiebbarkeit seiner Moleküle zeigt, indem es bei irgendeiner mechanischen Beeinflussung Formveränderungen aufweist. Aber es liegt auf der Hand, daß der Zustand, der dies bedingt, sich noch sehr weit unter die angegebenen Temperaturen fortsetzen muß. Man kann sich denken, daß ein Körper, der durch leichten Druck, etwa mit einer Nadel, noch keine Formveränderung zeigt, dies tun würde, wenn die wirkenden Kräfte sehr groß sein würden. In der Tat läßt sich durch Erwägungen, auf welche hier einzugehen zu weit führen würde, nachweisen, daß der geschmolzene Quarz und die Silikate bis hinunter zur gewöhnlichen irdischen Durchschnittstemperatur trotz ihrer scheinbar starren Form noch die Verschiebbarkeit der Moleküle und demgemäß diejenigen physikalischen Eigenschaften besitzen, welche für den flüssigen Aggregatzustand der Materie charakteristisch sind. Ganz besonders kommt dies zum Ausdruck in der sogenannten Oberflächenspannung, durch deren Vorhandensein bewiesen werden kann, daß wir es hier mit Flüssigkeiten zu tun

haben, welche freilich nicht mehr das landläufige Merkmal des Fließens zeigen. Für derartige Erscheinungsformen der Materie hat die moderne Wissenschaft den Begriff der „starren Flüssigkeit" geschaffen. Nur dann, wenn Silikate außerordentlich langsam abkühlen, so daß ihre Moleküle Zeit haben, sich zu Kristallaggregaten zu ordnen, gehen sie in den wahrhaft festen Zustand über. Erfolgt die Abkühlung geschmolzenen Quarzes oder geschmolzener Silikate verhältnismäßig rasch, wird dadurch die Beweglichkeit der Flüssigkeitsmoleküle so sehr herabgesetzt, daß sie sich nicht mehr nach Belieben gruppieren können, so bleibt der Zustand der starren Flüssigkeit für immer erhalten. Lange ehe man die wissenschaftlichen Grundlagen dieser Erscheinungen kannte, hat die Sprache schon starre Flüssigkeiten als etwas Besonderes für sich gestellt und für sie den Begriff des „Glases" geprägt. Die Fähigkeit der Silikate, Gläser zu liefern, ist ihre allerwichtigste Eigenschaft, und durch sie ist es bedingt, daß die Erscheinungsform bei den Silikaten fast noch wichtiger ist als die durch ihre chemische Natur bewirkten Eigenschaften.

Da es indessen auch Silikate gibt, für deren technische Verwertung die ihnen innewohnende chemische Reaktionsfähigkeit das Entscheidende ist, so soll im Nachfolgenden auf die vorgetragenen Gesichtspunkte in der Weise eine Einteilung des Stoffes gegründet werden, daß zunächst die durch ihre chemischen Reaktionen wirkenden Silikate besprochen werden und alsdann diejenigen folgen, welche durch ihre Reaktionsträgheit und die Eigenart ihrer Form ihren Wert erlangen.

DIE CHEMISCH AKTIVEN SILIKATE

Schon die mineralogische Wissenschaft sondert die zahllosen verschiedenen auf der Erdoberfläche vorkommenden silikatischen Gesteine in zwei große Gruppen. In der einen finden sich die Kieselsäure selbst und Abkömmlinge derselben, welche meist auf feurig-flüssigem Wege entstanden sind und Bestandteile der Urgesteine bilden. Sie zeichnen sich aus durch eine außerordentliche Unempfindlichkeit gegen chemische Einflüsse aller Art und sind gerade infolgedessen in den seit Jahrmillionen sich abspielenden Verwitterungsprozessen auf der Erdoberfläche unverändert geblieben. Die anderen, welche durch chemische Einflüsse leicht angreifbar sind, können auch pyrogenen Ursprungs sein und sind dann durch besonders geschützte Lagerung uns erhalten geblieben. Weit häufiger aber sind sie sekundäre Bildungen, welche den Einflüssen des Wassers ihre Entstehung verdanken und dann zumeist selbst Wasser in chemisch gebundener Form enthalten. Speziell diese letzteren bezeichnet die Mineralogie als „Zeolithe".

Die wichtigsten und verbreitetsten wasserhaltigen Silikate aber sind die durch Verwitterung der Urgesteine entstandenen, unendlich wechselnden Formen der Tone; von ihnen soll weiter unten die Rede sein. Dagegen seien hier die ebenfalls wasserhaltigen Zeolithe besprochen, deren chemische Reaktionsfähigkeit lange Zeit unbenutzt geblieben ist, bis sie ganz neuerdings zum Gegenstande einer bedeutsamen Verwertung gemacht wurde. Die Zeolithe verlieren nicht nur ihr Wasser bei starkem Glühen, sie werden nicht nur durch starke Säuren unter Abscheidung der in ihnen enthaltenen Kieselsäure zersetzt, sondern sie besitzen auch die Fähigkeit, durch Salzlösungen allmählich in der Weise umgestaltet zu werden, daß einzelne ihrer Bestandteile durch Bestandteile des auf sie wirkenden Salzes ersetzt werden. Diese Umsetzung vollzieht sich nach dem Prinzip der Massenwirkung in der Weise, daß die in reichlicher Menge vorhandenen Elemente diejenigen aus ihrer Lagerung vertreiben, welche in geringerer Quantität vertreten sind. Ein Zeolith, welcher Kali als einen seiner basischen Be-

standteile enthält, kann durch große Mengen von Kochsalzlösung in einen Natronzeolith verwandelt werden, dieser letztere aber geht wiederum in einen Kalizeolith über, wenn man ihn mit großen Mengen eines Kalisalzes in Berührung bringt.

Diese Eigenschaft ist es nun, welche neuerdings Verwertung gefunden hat. Es werden künstlich Zeolithe hergestellt, indem man geeignete kieselsäurehaltige Rohmaterialien, z. B. Feldspath, Tone u. a. m., mit Alkalisalzen, insbesondere Soda, zusammenschmilzt und durch Auslaugen der Schmelze mit Wasser den Zeolith sich bilden läßt und isoliert. Für solche Zeolithe lassen sich mannigfaltige Anwendungen finden.

Eine der wichtigsten und vielseitigsten derselben ist die Wasserreinigung. Bekanntlich ist der Gehalt der meisten Wässer an Kalk und Magnesiumsalzen namentlich für ihre technische Verwendung außerordentlich störend. Diese Salze bewirken die Bildung des Kesselsteins, welcher die Ursache starker Brennmaterialverluste bildet und auch zu Dampfkesselexplosionen Veranlassung geben kann. Bei den zahllosen technischen Verwendungen der Seife bewirkt der Kalk- und Magnesiagehalt des Wassers Seifenverluste, welche für einzelne Industriebezirke auf viele Millionen jährlich sich belaufen können. Ein Alkaligehalt des Wassers ist unschädlich sowohl in Dampfkesseln wie für den Gebrauch in Wäschereien und Färbereien. Wenn man nun ein mit künstlich hergestelltem Natronzeolith gefülltes Reservoir von kalk- und magnesiahaltigem Wasser durchfließen läßt, so reißt der Zeolith die gesamten Bestandteile des Wassers an sich und gibt eine entsprechende Menge von Natrium an dasselbe ab. Dies geschieht so lange, bis die Gesamtheit des Zeoliths in einen Kalkzeolith verwandelt ist. Erst wenn dies der Fall ist, weist das aus dem Reservoir abfließende Wasser wieder einen Kalkgehalt auf. Man braucht nun das Reservoir nur mit einer starken Kochsalzlösung zu durchfluten, so verwandelt sich der Kalkzeolith wieder in einen Natronzeolith, während sein Kalkgehalt in Form von Chlorkalzium an die Kochsalzlösung abgegeben wird. Nach Beendigung dieser Umsetzung ist der Zeolith aufs neue zur Wasserreinigung verwendbar. Es liegt auf der Hand, daß man durch Aufstellung zweier solcher Reservoire und durch abwechselnde Benutzung derselben den gesamten Wasserbedarf einer Fabrik oder einer Kesselanlage von Kalk befreien kann.

Besonders wichtig wird diese Reinigungsmethode für die Beseitigung gewisser, auf andere Weise schwer entfernbarer Verunreinigungen, welche sich mitunter in Wässern zeigen. So kommt es zum Beispiel in Norddeutschland nicht selten vor, daß Wasser einen geringen, aber außerordentlich lästigen Gehalt an Mangan besitzt, dessen Beseitigung ungemein schwierig ist. Verwendet man ein derartiges Wasser zum Waschen oder für die Zwecke der Papierfabrikation, so wird durch das von der Textil- oder Papierfaser fixierte Mangan, welches an der Luft zu Mangansuperoxyd sich oxydiert, eine häßliche braune Färbung hervorgerufen. Solche Übelstände kann man durch Behandlung eines derartigen Wassers mit einem Natronzeolith beseitigen. Derselbe ersetzt den Mangangehalt des Wassers durch eine äquivalente Menge unschädlichen Natriums und wird, wenn seine Wirksamkeit erschöpft ist, durch Behandlung mit einer Lösung von Natriumpermanganat wieder regeneriert. Auf diese Weise reichert sich in dem Zeolith immer mehr Mangan in der Form von Manganperoxyd an. Merkwürdigerweise wird die Wirkung des Zeoliths dadurch auf lange Zeit hinaus nicht beeinträchtigt; erst wenn der Zeolith zu sehr mit Mangan beladen ist, muß er ausgewechselt werden, er besitzt dann aber immer noch infolge des in ihm aufgespeicherten Mangangehaltes einen gewissen Wert, der kaum geringer ist als der des ursprünglich in Gebrauch genommenen Zeoliths.

Die Zeolithe können auch als Mittel zur Gewinnung wertvoller Substanzen, welche in ihrem natürlichen Vorkommen sehr verdünnt sind, Verwendung finden. So kann man zum Beispiel Zuckermelasse dadurch von ihrem Gehalt an Kaliumsalzen befreien und gleichzeitig diese letzteren in verkaufsfähiger Form gewinnen, daß man sie mit Zeolithen behandelt, welche das Kalium in sich aufnehmen und festhalten. Auch in solchen Verwendungen sind die Zeolithe berufen, noch eine recht große Rolle zu spielen.

Ein anderes Silikat, welches man nicht zu den Zeolithen rechnen kann, verdankt ebenfalls seinen Wert der großen ihm innewohnenden chemischen Reaktionsfähigkeit. Es ist dies das Wasserglas, dessen verschiedene Formen ganz einfach durch Zusammenschmelzen von Quarzsand mit Soda oder Pottasche hergestellt werden. Die so entstehenden Silikate, welche im geschmolzenen Zustande genau so aussehen wie gewöhnliches Glas, sind in Wasser namentlich bei einer über 100° liegenden Temperatur leicht löslich und repräsentieren im wesentlichen Salze der Disiliziumsäure. Diese Lösungen haben eine sirupöse Beschaffenheit und sind befähigt, mit anderen Salzen in Wechselwirkung zu treten und durch Zusatz von irgendwelchen Säuren die in ihnen enthaltene Kieselsäure in gallertartiger Form abzuscheiden. Hierauf beruhen die vielen verschiedenen Verwendungen des Wasserglases. Man streicht Mauerwerk und Steine mit Wasserglaslösungen an, welche in die Poren eindringen und durch die Kohlensäure der Luft unter Kieselsäureabscheidung zersetzt werden, welche letztere die Poren verstopft. Hierauf beruht die Herstellung der verschiedenartigsten Anstrichfarben und Imprägnierungsmittel, welche Wasserglas enthalten. Das Wasserglas ist aber auch infolge seiner partiellen Dissoziation in wässeriger Lösung ein sehr gutes Wasch- und Reinigungsmittel, welches in großer Menge in der Technik Verwendung findet. Es wird auch in konzentrierter Lösung billigen Seifen zugesetzt und vereinigt dann seine Wirkung mit derjenigen des fettsauren Salzes, aus dem die Seife besteht.

Die Kieselsäure und ihre Abkömmlinge sind gerade wegen der Trägheit, mit der sie wohl charakterisierte und leicht abscheidbare Formen annehmen, spröde, der Erforschung wenig zugängliche Materialien. Aber gerade indem diese Erforschung schließlich doch fortschreitet, werden immer neue Verwendungen für diese Körperklasse gefunden; es steht daher zu erwarten, daß uns auch diese weitverbreiteten und daher so leicht zugänglichen Substanzen noch manche Überraschungen bereiten werden.

DIE REAKTIONSTRÄGEN SILIKATE

A) DIE GLÄSER. Die im vorstehenden mehrfach erwähnte geringe Neigung des Siliziumdioxyds und seiner Abkömmlinge zu chemischen Umsetzungen ist die Ursache, daß der Mensch seit den ältesten Zeiten gerade die widerstandsfähigsten Formen dieser Körper aufgesucht und für seine Zwecke verwendet hat, namentlich da, wo eben eine Wechselwirkung mit anderen Materialien ausgeschlossen werden sollte. Dies ist in erster Linie der Fall mit Gefäßen aller Art, welche zur Zubereitung und Aufbewahrung der verschiedensten, namentlich flüssigen Materialien dienen sollen, dann aber auch da, wo irgendwelche Gegenstände auf lange Zeit hinaus den langsamen aber sicheren Angriffen der Atmosphäre zu widerstehen bestimmt sind. Beiden Bedingungen entsprechen der Quarz selbst und gewisse Silikate, namentlich solche komplexen Baues, welche chemisch als Doppelsalze von Polysiliziumsäuren aufgefaßt werden müssen.

Das Vorkommen des Quarzes in der Natur ist reichlich und mannigfaltig. Selbst in reinster Form als prachtvoll ausgebildete Kristalle von mitunter riesenhafter Größe tritt uns der Quarz, wenn auch nicht häufig, so doch öfter als viele andere Mineralien, in der Natur entgegen, so daß eine ziemlich umfangreiche Industrie sich damit beschäftigt, Linsen, Brillengläser, Schmucksteine und andere Objekte aus wasserklaren Bergkristallen zu schleifen. Aber auch in amorpher, zum Teil hydratischer Form als Feuerstein, Achat, Jaspis, Chalzedon wird dieser Körper in größeren Mengen benutzt. In mehr oder weniger kristallinischer Gestalt als dichter Quarz und Quarzit, ganz besonders aber in Form kleiner Kriställchen als Gemengteil des Granits und seiner Verwandten ist das Siliziumdioxyd auf der Erdoberfläche außerordentlich verbreitet. Die schon erwähnte große Sprödigkeit des kristallisierten Quarzes ist die Ursache, daß bei der Verwitterung der Urgesteine der Quarz zerspringt und zertrümmert wird, er sammelt sich dann durch die aufbereitende Wirkung des fließenden Wassers oft in großen Lagern als Quarzsand an, der für uns das reichlichste, fast unerschöpfliche Rohmaterial aller Verwendungen von Kieselsäure bildet.

Seit ziemlich langer Zeit ist es bekannt, daß der Quarz bei außerordentlich hoher Temperatur zum Schmelzen gebracht werden kann, aber erst die Neuzeit hat mit ihren so sehr gesteigerten Mitteln für die Erzeugung hoher Temperaturen das Phänomen der Schmelzung des Quarzes genauer erforscht und dabei das Quarzglas, die starrflüssige Form des Quarzes, kennen und ihre außerordentlich wichtigen Eigenschaften schätzen gelernt.

Heute werden aus Quarzglas, d. h. aus geschmolzenem und verhältnismäßig rasch wieder abgekühltem Quarz, viele Objekte namentlich zu chemischem Gebrauch hergestellt, und wir haben in ihnen das eigentliche Prototyp der Silikatgläser zu sehen, welche ihrerseits uns seit den ältesten Zeiten vertraut sind.

Für die Schmelzung des Quarzes benutzt man entweder die Hitze des Knallgasgebläses oder diejenige von elektrischen Widerstandsöfen. Die Verarbeitung in der Knallgasflamme liefert kleinere, aber vollständig durchsichtige Gegenstände, welche bei größter chemischer Unangreifbarkeit die unschätzbare und bei keinem anderen Material vorhandene Eigenschaft besitzen, gegen die schroffsten Temperaturwechsel völlig unempfindlich zu sein. Man kann chemische Apparate, welche aus Quarzglas hergestellt sind, zur Weißglut erhitzen und dann plötzlich in Eiswasser eintauchen, ohne daß sie den geringsten Schaden nehmen. Für alle Zwecke, bei denen höchste Temperaturen in Anwendung kommen müssen, oder bei denen durch plötzliche Temperaturwechsel ein Zerspringen des Gefäßes zu befürchten wäre, ist Quarzglas das gegebene Material, welches sich infolgedessen rasch in allen Laboratorien eingebürgert hat und auch für den industriellen, ja, vielleicht sogar für den häuslichen Gebrauch eine große Zukunft besitzt.

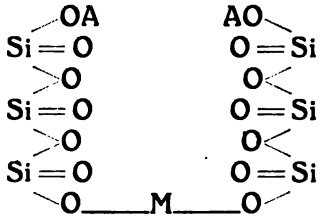
Letzteres steht besonders zu hoffen, seit man gelernt hat, den Quarz durch die Hitze des elektrischen Widerstandsofens zum Schmelzen zu bringen. Die auf solche Weise aus gewöhnlichem weißen Sand hergestellten Objekte sind nicht durchsichtig, sondern nur durchscheinend; sie besitzen aus Gründen, auf welche hier nicht näher eingegangen werden soll, eine faserartige Struktur und einen eigentümlichen Seiden- oder Atlasglanz, der vielleicht dazu berufen ist, ihnen auch eine kunstgewerbliche Verwendung zu sichern. In ihrer Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse und gegen schroffen Temperaturwechsel sind sie dem wasserklaren Quarzglas vollständig gleich.

Das Quarzglas fesselt unsere Aufmerksamkeit durch seine merkwürdigen, uns noch wenig vertrauten Eigenschaften. Unvergleichlich wichtiger aber ist für unsere Arbeit

und unser ganzes Dasein das dem Menschen seit Jahrtausenden bekannte gewöhnliche Glas, von dem man wohl sagen kann, daß es in seinen unendlich vielen verschiedenen Anwendungen uns absolut unentbehrlich geworden ist. Seine Lichtdurchlässigkeit, chemische Widerstandsfähigkeit, sein Glanz und die Möglichkeit, es bei nicht allzuhoher Temperatur in einer ganz besonderen und sehr bequemen Weise bearbeiten zu können, alle diese charakteristischen Eigenschaften haben dem Glase zahllose Anwendungen verschafft, in denen es sich meist nicht durch irgendwelche andere Materialien ersetzen läßt.

Alle Besonderheiten, die das Glas besitzt, verdankt es seiner Muttersubstanz, der Kieselsäure, deren einzig dastehendes Verhalten in den salzartigen Abkömmlingen der Kieselsäure, als welche die Gläser chemisch zu definieren sind, durch die eingeführten basischen Bestandteile etwas verändert und gleichsam gemildert erscheint. Wesentlich ist aber für die Gläser immer die Tendenz, bei verhältnismäßig rascher Abkühlung die starrflüssige Gestalt anzunehmen und dauernd in derselben zu verbleiben.

Schon aus dem früher Gesagten ergibt es sich, daß zwar jedes Silikat beim Schmelzen und nachträglichen raschen Erkalten glasartige Beschaffenheit annehmen kann, daß aber nicht alle Silikate die chemischen Eigenschaften besitzen, welche für die technischen Gläser charakteristisch sind und sie so wertvoll machen. Es ist dies vor allem die außerordentliche Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse aller Art. Diese Eigenschaft findet sich in vollkommener Weise nur bei den Doppelsalzen der Trisiliziumsäure von dem Typus der nachfolgenden Formel:



in welcher der Buchstabe A ein beliebiges Alkalimetall (meistens Natrium oder Kalium), der Buchstabe M ein beliebiges anderes Metall aus einer der höheren Gruppen dieser Elemente bedeutet. In den technischen Gläsern kommen für M fast immer Kalzium oder Blei, ausnahmsweise wohl auch Baryt, Zink oder ein anderes Metall in Betracht. Auch die Tonerde spielt eine wichtige, jedoch noch nicht ganz klar erkannte Rolle in der Zusammensetzung der Gläser; dasselbe ist der Fall mit Borsäure und Phosphorsäure, welche bis zu einem gewissen Grade statt der Kieselsäure in das Glas einzutreten vermögen.

Besonders wichtig ist ferner die Fähigkeit des Glases, sich durch Zusätze verschiedener Art beliebig färben zu lassen. Die gefärbten Gläser stellen entweder Auflösungen elementarer Körper (Kohle, Schwefel, Selen, Silber, Gold) in kolloidalem Zustande in der Substanz des Glases dar oder Lösungen der intensiv gefärbten Silikate mancher Metalle (Eisen, Chrom, Kobalt, Nickel, Mangan, Kupfer) in der silikatischen Hauptmasse des farblosen Glases. Charakteristisch ist in beiden Fällen die Tatsache, daß äußerst wenig der färbenden Verbindungen hinreicht, um dem Glase, in welchem sie gelöst sind, eine außerordentlich tiefe Farbe zu erteilen.

Die große Menge der im täglichen Leben Verwendung findenden Gläser sind Natron-Kalk-Trisilikate. Diese sind, wenn sie aus reinem Rohmaterial hergestellt

wurden, absolut farblos. Es ist aber selten möglich, färbende Verunreinigungen und vor allem das allgegenwärtige Eisen wirklich vollkommen auszuschließen. Infolgedessen besitzen fast alle Gläser in dicker Schicht eine leichte, die Gegenwart des Eisens verratende grünliche Färbung. Gläser, bei welchen diese Färbung schon in dünner Schicht sichtbar ist, werden als „halbweiß" bezeichnet; Gläser, welche infolge eines höheren Gehaltes an Eisen intensiv grün gefärbt sind, heißen Flaschengläser und werden in ungeheuren Mengen zur Herstellung von Flaschen aller Art benutzt, bei welchem der Schutz des Inhaltes vor allzu intensiver Lichtwirkung unter Umständen geradezu als ein Vorteil gelten kann, während gleichzeitig die Verwendung eisenhaltiger Rohmaterialien den Herstellungspreis der Flaschen ganz außerordentlich verbilligt. Für alle Gläser gilt die Regel, daß ihre Widerstandsfähigkeit um so höher entwickelt ist, je näher sie in ihrer Zusammensetzung der oben gegebenen typischen Formel kommen. Flaschengläser enthalten aber meist größere Mengen von Tonerde, wodurch es schwierig wird, ihre chemische Zusammensetzung auf einen bestimmten Typus zurückzuführen. Geringe Zusätze von Tonerde werden fast allen Gläsern gegeben, weil dieselben die Verarbeitung des Glases erleichtern, indem sie dasselbe in der Hitze geschmeidig machen und beim Erkalten das Verharren des Glases in dem starrflüssigen glasigen Zustande begünstigen. Vollkommen tonerdefreie Gläser neigen in höherem Maße zur Entglasung, d. h. zur Annahme kristallinischer Struktur, wenn sie längere Zeit bei einer Temperatur erhalten werden, welche dem Erweichungspunkte nahekommt, ohne doch denselben vollständig zu erreichen.

Gläser, in welchen der Kalziumgehalt durch eine äquivalente Menge Blei ersetzt ist, entsprechen zwar auch der oben gegebenen typischen Formel, aber ihr Prozentgehalt an Kieselsäure ist natürlich infolge des hohen Atomgewichts des Bleies erheblich geringer als bei den Kalkgläsern. Sie entfernen sich daher in gewissem Sinne noch weiter von der typischen Muttersubstanz, dem Quarz, als die Kalkgläser, indem sie einen wesentlich niedrigeren Schmelzpunkt zeigen als diese. Es ist die leichtere Schmelzbarkeit der Bleigläser, welche zu der Aufnahme derselben durch die Technik geführt hat. Bald aber lernte man auch andere Eigenschaften an ihnen kennen und schätzen, welche die Ursache sind, daß die Fabrikation der Bleigläser sich dauernd erhalten hat und auch heute noch in hoher Blüte steht, nachdem die Hervorbringung der für eine leichte Bearbeitung der Kalkgläser erforderlichen hohen Temperatur technisch so gut wie gar keine Schwierigkeiten mehr bietet. Diese wertvollen Eigenschaften der Bleigläser bestehen in ihrem hohen Lichtbrechungs- und -streuungsvermögen, welches diesen Gläsern, namentlich wenn ihnen durch Schliff und Politur geeignete Formen gegeben werden, einen hohen künstlerischen Reiz verleiht. Auch für die Anwendung in der Optik sind diese Gläser durch die genannten Eigenschaften außerordentlich wertvoll geworden. Bleigläser in ihrer Verwendung als Gefäße werden als Kristallgläser bezeichnet, die in der Optik benutzten Formen derselben nennt man Flintgläser, ein Name, der seine Erklärung darin findet, daß sie zuerst in England unter Benutzung von Feuersteinen als eisenfreies Kieselmaterial hergestellt wurden.

Die chemische Widerstandsfähigkeit der Bleigläser ist, vorausgesetzt, daß sie in ihrer Zusammensetzung der oben gegebenen Normalformel nahekommen, ebenso groß wie diejenige der Kalkgläser. Gläser, welche Blei und Kalzium in wechselndem Verhältnis gleichzeitig enthalten, heißen Halbkristallgläser und stehen in ihren Eigenschaften zwischen den Kristallen und dem gewöhnlichen Glase. Als Halbkristalle bezeichnet man nicht selten auch Barytgläser, in welchen das teure Blei durch das wesentlich

billigere Barium ersetzt ist. Da aber die optischen Eigenschaften solcher Gläser doch wesentlich von denen sowohl der Blei- wie der Kalkgläser abweichen, so stellt die Optik sie in eine besondere Gruppe, welche den Namen der „Barytflinte" erhalten hat.

Sowohl die Herstellungsweise als auch die wichtigsten Methoden der Verarbeitung der Gläser sind im Prinzip schon seit den Tagen des Altertums bekannt und in späteren Zeiten nur weiter ausgebildet und verbessert worden. Die Erfindung des Glases wird bekanntlich den Phöniziern zugeschrieben, welche zweifellos geschickte Glaskünstler waren und während langer Zeit einen lebhaften Handel mit ihren in Tyrus und Sidon gefertigten Glaswaren trieben. Ob sie aber wirklich als Erfinder des Glases gelten dürfen, ist zweifelhaft geworden, seit man aus Glas gefertigte Gegenstände bei den Ausgrabungen der einstigen Kulturstätten der Assyrier und Babylonier gefunden hat. Ganz sicher ist es, daß die Erfindung des Glases sich nicht in der Weise vollzogen hat, wie es Herodot in seiner bekannten Erzählung beschreibt.

Abbildung 8. Glasindustrie.
Allmähliches Eintragen des Satzes, d. h. des Gemisches der für die Entstehung des Glases erforderlichen Ingredienzien, in den Glasofen.

Die alten Ägypter waren geschickte Glasmacher und haben uns Darstellungen der Art und Weise, wie bei ihnen das Glas verarbeitet wurde, in gewissen Tempelreliefs hinterlassen. Infolgedessen wissen wir, daß schon damals das weiter unten zu besprechende „Blasen" die wichtigste Methode der Formung geschmolzenen Glases war. Im alten Rom gelangte die Glasfabrikation zu hoher Blüte, sie wurde bei der Teilung des römischen Reiches nach Byzanz verpflanzt und dort eifrig gepflegt und weiter entwickelt. Von hier aus fand sie bei dem Zusammenbruch des oströmischen Reiches eine neue Zufluchtstätte in Venedig, wo sie bis auf den heutigen Tag eifrig betrieben wird. Aber auch im westlichen Europa, in England, Frankreich, Deutschland, Österreich, hat sie sich zu großer Blüte entwickelt, und bei der Verpflanzung der europäischen Technik nach der Neuen Welt war es die Glasindustrie, welche sich unter dem Einfluß besonders günstiger Bedingungen in Nordamerika rascher als irgendeine andre einbürgerte.

Die ostasiatischen Kulturvölker haben die Fabrikation des Glases zwar seit längerer Zeit gekannt, aber sie hat bei ihnen nicht dieselbe eifrige Pflege gefunden wie bei uns in Europa und ist daher, so wie sie heute zum Beispiel in Japan zur Blüte gelangt ist, mehr eine Übertragung einer westlichen Errungenschaft nach dem Osten als eine autochthone Schöpfung.

Die Herstellung des Glases ist im Prinzip außerordentlich einfach. Es genügt, Kieselsäure, gewöhnlich in der Form von reinem eisenfreiem Sand, sogenanntem „Glassand", mit den erforderlichen basischen Bestandteilen im richtigen Mengenverhältnis zusammenzuschmelzen, um ohne weiteres Glas zu erhalten. Die basischen Bestandteile sind beim gewöhnlichen Glase Kalkstein und Soda. Die letztere kann durch Natriumsulfat ersetzt werden, was früher, als der Unterschied im Preise beider Salze sehr groß war, eine wesentliche Verbilligung des Produkts bedeutete. Heute,

wo Sulfat und Soda bei gleichem Natriumgehalt annähernd gleichen Preis haben, bietet die Verwendung von Sulfat nur noch geringe Vorteile und würde wohl vollständig verschwinden, wenn nicht die chemischen Fabriken einen Absatz für das bei der Salzsäuregewinnung entstehende Sulfat haben müßten.

Bei der Herstellung von Kaligläsern, wie sie zum Beispiel in Böhmen betrieben wird, wird die Soda durch eine äquivalente Menge Pottasche ersetzt. Weit verbreitet ist auch der Gebrauch, Pottasche und Soda in wechselndem Verhältnis gleichzeitig zu verwenden. Kalinatrongläser haben den Vorteil, etwas leichter schmelzbar zu sein, bieten aber für gewisse — namentlich wissenschaftliche — Verwendungen den Nachteil der sog. „Depression". Bei der Herstellung von Kristall- und Halbkristallgläsern wird in dem Gemisch der Rohmaterialien der Kalkstein ganz oder teilweise durch Bleioxyd oder häufiger durch Mennige ersetzt, und in ähnlicher Weise verfährt man, wenn man andere Bestandteile, wie z. B. Baryt oder Zink, in das Glas hineinbringen will. Die möglichst innige Mischung der Rohmaterialien, aus denen das Glas erschmolzen werden soll, heißt unter allen Umständen der „Satz".

Beim Niederschmelzen der Sätze spielt sich die Glasbildung in der Weise ab, daß zunächst der leichtest schmelzbare Bestandteil, bei den gewöhnlichen Gläsern also das Alkalisalz, in Fluß kommt und nun unter chemischer Einwirkung die anderen Bestandteile allmählich löst und in sich aufnimmt. Diesen Prozeß, der immer eine gewisse Zeit erfordert, nennt man das „Sintern" des Satzes. Um ihn zu erleichtern, setzt man dem „Satz" gern Scherben fertigen Glases zu. Als Ergebnis entsteht eine poröse, blasig aufgetriebene Masse, welche zwar die Zusammensetzung des Glases hat, aber noch ungleichmäßig ist. Durch erhebliche Steigerung der Glut wird diese gesinterte Masse zum wirklichen Schmelzen gebracht, wobei die eingeschlossenen Luftbläschen als Schaum nach oben steigen und die beigemengten Fremdkörper je nach ihrem spezifischen Gewicht teils zu Boden sinken, teils ebenfalls emporschwimmen. Dieser Vorgang wird als „Läuterung" bezeichnet; der auf der Oberfläche des flüssigen Glases sich ansammelnde unsaubere Schaum heißt „Glasgalle" und wird vor der Verarbeitung des klaren Glases zur Seite geschoben oder abgeschöpft. Der Läuterungsprozeß wird durch allerlei Kunstgriffe unterstützt, welche hier nicht aufgezählt werden sollen; doch muß erwähnt werden, daß man während des Stadiums der Läuterung durch geeignete Hilfsmittel, wie Einblasen von Luft oder Sauerstoff oder Zusatz von Oxydationsmitteln, dafür sorgt, daß das vorhandene Eisen im Ferrizustande verbleibt, weil es in diesem weit geringere färbende Wirkung ausübt als im Ferrozustande. Nur dem letzteren ist die vorerwähnte flaschengrüne Farbe eisenhaltiger Gläser zuzuschreiben.

Abbildung 9. Glasindustrie.
„Haubenhäfen", gedeckte Schmelzgefäße für die Herstellung von Glas, wie sie namentlich in der Kristallglasindustrie benutzt werden.

Zum Schmelzen der Gläser bedient man sich seit den ältesten Zeiten der sogenannten „Häfen", Tiegel aus hochfeuerfesten Tonen, welche mit besonderer Vor-

sicht und Sorgfalt hergestellt werden und, wenn sie tadellos sind, verhältnismäßig lange Zeit dienen können, ehe sie unbrauchbar werden. Für die Herstellung der Bleigläser, bei welchen jeder reduzierende Einfluß der Flammgase möglichst vermieden werden muß, sind ebenfalls seit alter Zeit die sogenannten „Haubenhäfen" üblich, welche kuppelartig überwölbt sind und eine seitliche Öffnung haben, durch welche man zu dem Glase gelangen kann. Die Häfen stehen gewöhnlich in zwei Reihen auf den „Bänken" des Glasofens, eines Flammofens mit einem Gewölbe aus Dinassteinen, dessen Konstruktion eine Heizung auf sehr hohe Temperaturen gestattet.

Abbildung 10. Glasindustrie. Aufblasen des an die „Pfeife" genommenen flüssigen Glases zu einem „Kölbchen".

Die Erreichung der erforderlichen hohen Temperatur war früher, namentlich für die schwerer schmelzenden Kalkgläser, recht schwierig. Sie ist bedeutend leichter geworden seit Einführung der Befeuerung dieser Öfen mit Generatorgas und namentlich seit man gelernt hat, die Hitze der Abgase in dem sogenannten regenerativen Betrieb, durch dessen Einführung Friedrich Siemens sich große Verdienste erworben hat, den Öfen wieder zuzuführen.

Die regenerative Gasfeuerung hat ferner die Möglichkeit geschaffen, mit sogenannten Wannenöfen zu arbeiten, bei welchen die kostspieligen Häfen beseitigt sind und die Sohle des Ofens selbst als Gefäß zur Aufnahme des schmelzenden Glases dient. Die in den gewöhnlichen Hafenöfen zeitlich geschiedenen Vorgänge des Sinterns, Läuterns und der Verarbeitung des fertigen Glases werden hier räumlich getrennt, indem in den verschiedenen Teilen des Ofens verschieden hohe Hitzegrade unterhalten werden. Der Ofen, dem entweder ein länglich rechteckiger oder ein fächerförmiger Grundriß gegeben werden kann, dient in seinem hinteren, kühleren Ende zum Sintern des Satzes. Der heiße Mittelraum ist der Läuterung gewidmet; das wieder etwas kühlere Ende liefert das wieder zäher gewordene Glas für die Verarbeitung. Da die Sohle des Ofens ganz wenig geneigt ist, so fließt der dickflüssige Inhalt langsam von hinten nach vorn und erleidet dabei die beabsichtigten Einflüsse.

Die älteste und am meisten benutzte Verarbeitungsweise des Glases ist das Blasen, und das dazu dienende Werkzeug heißt die „Pfeife". Sie besteht aus einem schmiedeeisernen Rohr, welches mit einem Ende in das zähflüssige Glas eingetaucht wird, von welchem sich ein größerer oder kleinerer Klumpen anhängt. Durch Blasen mit dem Munde kann nun das glühende Glas zu Hohlkörpern von beliebiger Größe und Gestalt aufgetrieben werden. Durch Verwendung besonderer Formen, welche aus befeuchtetem Holz oder aus Metall bestehen können, werden die zahllosen Abarten des Hohlglases hergestellt. Damit das Glas bei Verwendung von Formen an diesen nicht anklebt, muß in irgendeiner Weise dafür gesorgt werden, daß durch die Hitze des glühenden Materials eine fortwährende Gasentwicklung an der Oberfläche der Form stattfindet. Bei hölzernen Formen geschieht dies durch das Anfeuchten, metallene

Formen werden mit Wachs bestrichen, oder es wird ein dünner Holzspan in sie hineingeworfen, der bei seiner Verbrennung die gewünschte Gasentwicklung hervorbringt.

Tafelglas, wie es in ungeheuren Mengen zur Herstellung von Fenstern und anderen Zwecken Verwendung findet, wird ebenfalls geblasen, und zwar geschah dies früher in der Weise, daß ein kugeliges Gefäß am einen Ende geöffnet und in rasche Drehung versetzt wurde. Das noch flüssige Glas, aus dem das Gefäß besteht, folgt den Wirkungen der Zentrifugalkraft, der Hohlkörper erweitert sich zunächst zu einer Schale und schließlich zu einer kreisförmigen Scheibe. Dieses früher allgemein übliche Verfahren wird heute nur noch ausnahmsweise für gewisse Zwecke angewandt, es ist fast ganz ersetzt worden durch das im Mittelalter in Venedig erfundene, in den westeuropäischen Industrieländern (Belgien, England, Deutschland) vervollkommnete und weiter ausgebildete Verfahren des Blasens von „Walzen", welches den Vorzug hat, quadratische Tafeln ohne mittleren Knoten („Butzen") zu liefern. Bei diesem Verfahren stellt der Arbeiter einen langen Hohlzylinder von erheblichem Durchmesser her. Dieser wird an dem einen Ende aufgeblasen, am anderen abgesprengt, dann wird ebenfalls durch Sprengen ein geradlinig verlaufender Spalt angebracht, und nun wird der Zylinder im „Streckofen" auf eine Temperatur erhitzt, bei welcher das Glas erweicht und durch Streichen mit hölzernen Stäben auf der die Sohle des Ofens bildenden Streckplatte zu einer Tafel ausgebildet werden kann.

In neuerer Zeit wird außerordentlich viel Preßglas hergestellt, zu welchem Zwecke das Glas im Ofen flüssiger, also heißer gehalten werden muß, als es für die Verarbeitung durch Blasen notwendig ist. Von dem so erzielten dünnflüssigen Glase werden angemessene Mengen mittels Schöpfkelle dem Ofen entnommen, in mit Wachs bestrichene metallene Formen eingegossen, und nun wird durch Niederlassen eines Stempels das betreffende Objekt geformt. Auf diese Weise lassen sich zu sehr billigem Preise Nachahmungen geschliffener Glaswaren herstellen, Objekte wie Teller, Schalen u. a. m., deren Formung durch Blasen gar nicht oder doch nur unter der Voraussetzung möglich war, daß ein großes Stück des geblasenen Gegenstandes preisgegeben wird, um aus ihm ein kleines Stück, welches man herzustellen beabsichtigt, herauszuschneiden.

Wenn auch das Pressen des Glases eine wertvolle Errungenschaft ist, so ist es doch der Natur des Materials nicht in demselben Maße angepaßt wie die Technik des Blasens. Es ist das Verdienst des genialen, zu früh verstorbenen Glasindustriellen Paul Sievert, Verfahren erfunden zu haben, welche die Technik des Blasens der Gläser ganz außerordentlich erweitern. Diese Verfahren laufen alle darauf hinaus, daß flüssiges Glas zunächst zu einer Platte geformt und diese nachher durch mechanische Hilfsmittel in Hohlformen hineingetrieben wird. Am elegantesten ist das „Blasen auf der nassen Platte", wobei die Hohlform auf einen Kuchen weichen Glases aufgepreßt wird, welcher seinerseits auf einer befeuchteten Asbestplatte liegt. Durch die plötzlich einsetzende Entwicklung von Wasserdampf wird das Glas in die Form hineingetrieben. Durch Verwendung großer Plattenformen aus Gußeisen in Verbindung mit Preßluft können Hohlkörper von gewaltigen Dimensionen, wie z. B. Badewannen, Fässer und Reservoire aller Art, aus Glas gefertigt werden. Schließlich gelang es Sievert auch, ein Verfahren zum Blasen mächtiger Zylinder auszuarbeiten, die aufgeschnitten und zu Glastafeln von einer Größe gestreckt werden können, wie man sie durch Blasen mit dem Munde nicht zu erreichen vermochte.

Sehr wichtig sind ferner die verschiedenen Methoden des Walzens der Gläser, vor allem die Herstellung des Spiegelglases, welche im 18. Jahrhundert in Frankreich

erfunden worden ist. Hier wird der ganze das Glas enthaltende Hafen aus dem Ofen herausgenommen, mit einem Kran über einen metallenen Tisch geführt und die ganze glühende Glasmasse auf diesem ausgeschüttet. Durch Übergehen des zerfließenden Glases mit einer Walze wird eine Glastafel von gleichmäßiger Dicke hergestellt, welche allerdings erst durch nachträgliche Schleifung und Politur die Ebenheit und Durchsichtigkeit erhält, welche wir an dem Spiegelglase so hoch schätzen, und welche es möglich macht, diese Art des Glases zu Spiegeln zu verwenden, indem man die eine Seite desselben mit einem glatten, fest anhaftenden Metallüberzug versieht. Durch Auswalzen von Glas auf Metalltischen mit eingraviertem Muster lassen sich die mannigfaltigsten, neuerdings wichtig gewordenen Arten des halbdurchsichtigen gerieften und gemusterten Glases herstellen. Durch Einschließen eines Drahtnetzes in das ausgewalzte Glas wird das „Drahtglas" erhalten, welches den großen Vorzug hat, daß, auch wenn es zerspringt, die einzelnen Bruchstücke dennoch durch das eingeschlossene Drahtgewebe fest zusammengehalten werden.

Abbildung 11. Glasindustrie.
Aufblasen einer großen Hohlkugel, welche durch nachfolgendes Schwenken zu einer „Walze" gestreckt werden soll, wie sie für die Fabrikation des Tafelglases erforderlich ist.

Wie immer auch die Verarbeitung des aus dem Ofen kommenden zähflüssigen Glases erfolgen mag, unter allen Umständen muß nach der Formgebung ein Prozeß der „Kühlung" zur Anwendung kommen, durch welchen das Glas erst brauchbar wird. Dieser Prozeß besteht darin, daß das fertig geformte Glas in einen Ofenraum hineinkommt, dessen Temperatur dem Erweichungspunkte des Glases nahekommt. In diesem Raume verbleibt das Glas längere Zeit, während gleichzeitig der Ofen langsam abkühlt. Hat auf solche Weise das Glas eine Temperatur von etwa 200° erreicht, so kann es dem Kühlofen entnommen werden und an offener Luft weiter abkühlen. Ein nicht in dieser Weise behandeltes Glas ist zwar widerstandsfähig gegen Schlag und Stoß und Temperaturwechsel, aber wenn seine Oberfläche nur wenig verletzt wird, so zerspringt es in zahllose Splitter. Es erklärt sich dies aus dem Umstande, daß ein rasch abgekühltes Glas wirklich noch in vollständig flüssigem Zustande ist. Es steht daher unter starker Oberflächenspannung, welche das Objekt schützt, solange es an der Oberfläche unverletzt ist, dasselbe aber zerstört, sobald durch eine Verletzung an irgendeiner Stelle das Gleichgewicht der allseitig wirkenden Kräfte aufgehoben wird. Durch das längere Verweilen im Kühlofen setzt der Prozeß der Entglasung, d. h. der allmählichen Herausbildung eines Gerüstes von in der Masse des Glases eingeschlossenen Kristallen ein. Läßt man diesen Prozeß nicht weiter gehen, als eben zur Bildung eines Gerüstes erforderlich ist, so ist dasselbe noch nicht sichtbar, aber es wirkt durch Aufnahme eines Teiles der Kräfte der Oberflächenspannung. Wird der Prozeß der Kühlung zu lange fortgesetzt, dann tritt schließlich ein vollständiges Entglasen, d. h. ein Kristallinisch- und Undurchsichtigwerden des Objektes ein.

Die fertigen Gläser können durch eine ganze Reihe von Methoden auch in der Kälte noch weiterbearbeitet werden. Es gehört hierhin das Schleifen und Polieren, das Bearbeiten mit dem Sandstrahlgebläse, das Ätzen mit Flußsäure, das Gravieren u. a. m. Sehr wichtig ist auch, namentlich für die Zwecke der wissenschaftlichen Verwendung des Glases, die Möglichkeit, Glas, welches zu Röhren und Stäben geformt ist, durch Erhitzen in der Gebläseflamme zu erweichen und einer erneuten Bearbeitung im zähflüssigen heißen Zustande zu unterziehen. Darin besteht die Technik des Glasblasens, welche in ganz erstaunlicher Weise ausgebildet worden ist und für die Herstellung zahlloser wissenschaftlicher Instrumente und Apparate, aber auch für die Anfertigung von Gegenständen des täglichen Gebrauchs, wie z. B. Glühlampen, Verwendung findet.

Die für optische Zwecke bestimmten Gläser müssen schon bei der Schmelzung mit besonderer Vorsicht behandelt werden. Sie werden meist in kleineren Öfen niedergeschmolzen, welche bloß einen einzigen Hafen enthalten, der aber unter Umständen sehr groß sein kann. Das geläuterte Glas wird andauernd gerührt, um es gründlich zu durchmischen und auf diese Weise so gleichmäßig zu machen wie möglich. Für optische Zwecke genügt es nicht, wenn das Glas für das bloße Auge gleichmäßig durchsichtig ist, es muß auch die Prüfung im Schlierenapparat bestehen, welche in sehr genauer Weise erkennen läßt, ob die Dichte und das Lichtbrechungsvermögen des Glases durchweg gleichartig sind, und ob dasselbe sich frei zeigt von Spannungen. Das optische Glas läßt man gewöhnlich in dem Hafen, in welchem es hergestellt wurde, zu einem Block erstarren, wobei es meist in mehrere Stücke zerspringt. Diese werden weiter zerschlagen und zerschnitten, und den einzelnen Stücken wird je nach ihrer Größe und Fehlerfreiheit eine passende Verwendung zugewiesen. Sehr gute Linsen werden meist aus dem vollen heraus geschliffen, billigere Gläser dagegen durch „Senken", d. h. Pressen im halbweichen Zustande, in roher Weise vorgeformt, um ihnen dann durch Schliff und Politur ihre endgültige Gestalt zu geben.

B) DIE TONWAREN. Zu den am häufigsten in der Natur vorkommenden Silikaten, welche aus feurigen Schmelzflüssen sich abgeschieden haben, gehört die Gruppe der Feldspate, welche ja auch in mehr oder weniger deutlicher Kristallform den Hauptbestandteil der Urgesteine, Granit, Gneis usw., bilden. Sie sind Doppelsilikate des Aluminiums und der Alkalimetalle, häufig enthalten sie auch Kalk und andere Oxyde. Ihrer Zusammensetzung nach nähern sich somit die Feldspate den Gläsern, und wo sie, etwa durch vulkanische Ausbrüche, eine erneute Schmelzung und rasche Abkühlung erfahren haben, da sind sie in die wirklichen, natürlich vorkommenden Gläser, die Obsidiane, Laven usw., verwandelt worden. Aber die Feldspate sind nicht genau nach dem Typus gebaut, den wir als maßgebend für vollkommene Gläser erkannt haben, und daher kommt auch ihre Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse derjenigen unserer besten Gläser nicht gleich. So kommt es, daß die Feldspate und ihre Umwandlungsprodukte im Laufe der Zeit durch die mechanischen und chemischen Wirkungen des Wassers und der Bestandteile der Atmosphäre zerkleinert und zersetzt worden sind. Dieser Verwitterungsprozeß, der je nach den obwaltenden Umständen und der Zusammensetzung des verwitternden Materials verschiedenartig verläuft, ist von außerordentlicher Wichtigkeit, denn in ihm ist die ungeheure Menge der fruchtbaren Sedimentärgesteine gebildet worden, in welchen das auf der Erdoberfläche entstandene Leben wurzelt. Von der eigentlichen fruchtbaren Ackerkrume, welche unter allen Umständen ein sehr komplexes Gemisch ist, braucht hier nicht die Rede zu sein, sondern nur von den weit selteneren, aber für unsere Zwecke immer noch

häufigen und in unerschöpflichen Mengen vorhandenen Bildungen, welche in verhältnismäßig reiner Form den unlöslichen und unangreifbaren Rückstand bilden, der bei der Verwitterung der Feldspate und Urgesteine zurückgeblieben ist. Soweit derselbe aus reinem Feldspat entstanden ist, bildet er ein schneeweißes, vollkommen einheitliches, aus wasserhaltigem Aluminiumsilikat bestehendes Pulver, welches mineralogisch und technisch den Namen „Kaolin" führt. Das Kaolin ist das Prototyp aller Tone, welches aber in unvermengter Form nur verhältnismäßig selten gefunden wird. Weit häufiger sind innige Gemenge dieser Tonsubstanz mit feinstverteilten andern Mineralstoffen. Unter diesen spielen feinstpulveriger Quarz und Feldspat, der noch nicht zersetzt ist, am häufigsten eine Rolle. Solange sie allein zugegen sind, ist das Mineral noch weiß und wird immer noch als Kaolin betrachtet. Sehr häufig aber treten noch andere Körper, feinpulverige Kalksalze, Eisenhydroxyd, freie Tonerde und vieles andere mehr, hinzu: dann haben wir es mit den eigentlichen Tonen zu tun, deren Eigenschaften so wechselnd und so mannigfaltig sind, daß es schwerfällt, gemeinsame Merkmale für alle Tone aufzustellen. Durch immer weitergehende Beimengungen, namentlich auch von Kalk, gehen die Tone schließlich in die Mergel und endlich in die gewöhnliche Ackererde über.

Charakteristisch für alle Tone ist ihr Gehalt an chemisch gebundenem Wasser und ihre Plastizität, d. h. ihre Fähigkeit, sich im feuchten Zustande formen zu lassen und die ihnen so gegebene Gestalt beizubehalten, wenn das geformte Objekt allmählich eintrocknet. Wird dann der getrocknete Formling allmählich einer gesteigerten Glut ausgesetzt, so zerfällt er nicht etwa zu Pulver, wie andere durch Feuchtigkeit agglomerierte Materialien dies tun würden, sondern er verliert nach und nach das chemisch gebundene Wasser und beginnt dann bei immer steigender Temperatur zu sintern, d. h. die verschiedenen Beimengungen der Tonsubstanz kommen nach und nach zum Schmelzen, verwandeln sich in Gläser und verkitten, da sie als solche im erweichten Zustande klebrig sind, die Teilchen des eigentlichen Tones, der an sich zu den feuerbeständigsten Substanzen gehört. Daß bei diesem Sinterungsprozeß auch chemische Reaktionen zwischen den schmelzenden Silikaten sich abspielen können, bedarf wohl kaum besonderer Erwähnung, ja, es ist neuerdings festgestellt worden, daß in diesen Reaktionen neue Silikate, z. B. Sillimanit, sich bilden, deren haarförmige Kristalle in alle Poren des Objektes eindringen und durch ihre Verfilzung die Festigkeit desselben erhöhen.

Die Plastizität der Tone, ihre Fähigkeit, im feuchten Zustande sich beliebig formen zu lassen, ist eine so aufdringliche Erscheinung, daß nicht nur der Mensch, sondern sogar die Tiere sie beobachten und sich zunutze machen. So baut z. B. die Schwalbe aus feuchtem Ton ihr Nest, und zahllose Insekten haben ebenfalls gelernt, diese Eigenschaft der Tone auszuwerten. Dem Menschen ist sie so bequem, daß bis jetzt noch niemals ein Volk gefunden worden ist, welches nicht, so niedrig seine Kultur sonst auch sein mag, den Ton zu verschiedenen Zwecken zu benutzen verstanden hätte. Manche nun schon verschwundene Völker, wie die Etrusker, die Inkas und die Pueblo-Indianer, haben sich durch ihre Töpferkunst unsterblichen Ruhm erworben.

Naß geformter und bloß getrockneter Ton zerfällt bei erneutem Befeuchten wieder zu Brei, während durch das Brennen die einmal gegebene Form für alle Zeit erhalten bleibt, so daß auch noch so langes Einweichen in Wasser sie nicht mehr aufzuheben vermag. Das Brennen geformter Tone repräsentiert somit einen ungeheuren Fortschritt, der aber auch schon sehr frühzeitig von den verschiedensten Völkern, von

den Ägyptern sogar schon 4000 Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung, verwirklicht worden ist.

Die geschilderte Eigenart des Tones gibt uns ein neues, von den Methoden der Glasindustrie völlig verschiedenes Mittel an die Hand, den widerstandsfähigen Silikaten jede gewünschte Form zu erteilen und sie für tausenderlei Verwendungen des täglichen Lebens und der Industrie anwendbar zu machen. Allerdings sind die auf solche Weise zustande kommenden keramischen Objekte keine chemisch wohl definierbaren Verbindungen mehr wie die Gläser, sondern komplexe Gemische, welche aus heterogenen feinsten Teilchen bestehen. Die Mischung derselben ist aber eine so innige, daß sie für das bloße Auge einheitliche Gebilde darstellen. Man pflegt die Substanz des keramischen Objektes unabhängig von der demselben gegebenen Form als den „Scherben" zu bezeichnen.

Die chemische Durchforschung der Natur des Scherbens verschiedener Tonwaren ist heute schon sehr weit gediehen und bietet eine Fülle interessanter Tatsachen und Probleme, auf welche aber hier einzugehen viel zu weit führen würde, zumal da es sich um recht komplexe Erscheinungen handelt. Für eine Schilderung der Tonwaren und ihrer Herstellung ist auch die Kenntnis dieser chemischen Gesichtspunkte nicht unbedingt erforderlich.

Schon aus dem Vorstehenden ergibt sich ohne weiteres die Abhängigkeit des Scherbens von der Natur des Tones, aus welchem derselbe hergestellt wurde. Da nun die auf der ganzen Erdoberfläche in größeren oder kleineren Lägern zerstreuten Tone unendlich mannigfaltig sind, so mußte sich schon frühzeitig bei ihrer technischen Verwertung eine endlose Verschiedenartigkeit der aus ihnen erzeugten Waren ergeben. Bald fand man auch, daß die Eigenschaften dieser Waren so variabel sind, daß ganz und gar verschiedene Verwendungsmöglichkeiten entstehen. Gewisse Tonlager erlangten Ruf dadurch, daß aus ihnen, indem man sie einfach formte und brannte, besonders geschätzte Tonwaren sich herstellen ließen. So ist es gekommen, daß man die Tone vielfach nach ihrer Verwendung als Töpfertone, Steinzeugtone, Ziegeltone, feuerfeste Tone usw. unterschied. Jahrtausendelang herrschte auf diesem Gebiete die reine Empirie, und es sammelte sich ein immer größer werdender Schatz von Erfahrungen.

Eine übersichtliche Behandlung des Gegenstandes in engem Rahmen wäre nicht möglich, wenn wir auch heute noch lediglich Erfahrungen zu verzeichnen hätten, ohne sie begründen zu können. Dies ist glücklicherweise nicht der Fall, sondern es ist durch ein methodisches Studium zahlloser und namentlich der meisten durch besonders auffallende Eigenschaften ausgezeichneten Tone möglich geworden, zu sagen, welche Bestandteile dieser Mineralien bestimmte Eigenschaften der aus ihnen hergestellten technischen Produkte zustande kommen ließen. Diese Erkenntnis ist besonders dadurch gefördert worden, daß nach und nach analytische Methoden herausgebildet worden sind, welche nicht nur wie die gewöhnliche quantitative Analyse die Elementarbestandteile eines solchen Minerals festzustellen erlauben — dies würde uns offenbar sehr wenig nützen, da ja die chemischen Bestandteile der verschiedenen Gemengteile eines Tones vielfach dieselben sind —, sondern auch die einzelnen Mineralien, aus denen ein beliebiger Ton sich zusammensetzt. Beispielsweise ist es schon in dem sehr einfachen Falle eines gewöhnlichen, aus Kaolin, Feldspat und Quarz sich zusammensetzenden Porzellantones von wenig Nutzen für uns, zu wissen, welchen Gesamtgehalt an Kieselsäure oder Tonerde derselbe besitzt, da ja alle drei Bestandteile Kieselsäure und nicht weniger als zwei derselben Tonerde enthalten, sondern

es kommt darauf an, zu wissen, in welchem Mengenverhältnis diese drei Mineralien als solche zugegen sind, weil von ihnen die Eigenschaften des aus ihnen beim Formen und Brennen entstehenden Objektes abhängig ist. Das Kaolin ist nämlich der plastische, die Formbarkeit im nassen Zustande bedingende Bestandteil; der Feldspat der sinterungsfähige, beim Brennen glasartig werdende und auf solche Weise die Festigkeit des gebrannten Stückes bedingende. Kaolin und Quarz sind hoch feuerfest und bewirken die Widerstandsfähigkeit gegen hohe Hitze; außerdem spielt der Quarz eine wichtige Rolle als sogenanntes Magerungsmittel und beteiligt sich auch bei den beim Brennen auftretenden Vorgängen. Es kommt also jedem Bestandteil eines Tones eine bestimmte Rolle bei seiner Verarbeitung zu, und wir werden nur dann ein Urteil über die Verwendungsfähigkeit dieses Tones haben, wenn wir alle Mineralbestandteile, aus denen er sich aufbaut, und ihr relatives Mengenverhältnis zueinander kennen. Hierzu verhilft uns die sogenannte „rationelle Analyse", welche von dem bedeutenden Berliner Keramiker Seeger in die Technik eingeführt und in neuerer Zeit vielfach weiter ausgebaut worden ist.

Die vorhin beschriebenen Erscheinungen beim Trocknen und Brennen der Tone, der Verlust des chemisch gebundenen Wassers, die Beibehaltung der dem Objekt einmal gegebenen Form und die innere Festigung des Zusammenhanges vollzieht sich nicht ohne gewisse Begleiterscheinungen. Die wichtigste derselben ist die „Schwindung", das ist die Tatsache, daß der geformte Gegenstand bei aller Wahrung der ihm verliehenen Gestalt doch in seinen Abmessungen fortwährend sich verkleinert. Es ist dies eigentlich auch nicht anders zu erwarten, denn wenn ein knetbarer Ton zuerst die 30—40% des ihm mechanisch beigemengten Wassers, dann etwa 10—15% an chemisch gebundenem Wasser verliert und dabei doch seinen Zusammenhang behält, so kann dies nicht anders geschehen, als indem seine kleinsten Teilchen zusammenrücken. Wenn dann nach dem Verlust des chemisch gebundenen Wassers die Sinterung der schmelzbaren Teile einsetzt, muß abermals eine Kontraktion stattfinden, denn flüssige Körper sind bestrebt, den Zustand der kleinsten Raumerfüllung anzunehmen, sie sinken daher beim beginnenden Schmelzen in sich zusammen. Alle diese Kontraktionen bezeichnet man als „Schwindung" und unterscheidet zwischen Trockenschwindung und verschiedenen Arten der Feuerschwindung. Die Schwindung beruht in erster Linie auf dem Wassergehalt der Tonsubstanz, und da durch diese auch die Plastizität, d. h. die Formbarkeit, der Tonmassen zustande kommt, so besteht ein Zusammenhang zwischen Plastizität und Schwindung. Ein Ton schwindet um so stärker, je plastischer er ist. Nun ist aber die Schwindung ein sehr gefährlicher Vorgang, sobald es sich um geformte Gegenstände von einigermaßen komplizierter Gestalt handelt. Man denke sich eine aus Ton geformte menschliche Figur, welche allmählich eintrocknet und dabei durch Schwindung immer kleiner und kleiner wird. Dabei werden die Gliedmaßen rascher trocken und demgemäß auch rascher schwinden als der Rumpf, weil der letztere im Vergleich zu seiner Masse eine geringe Oberfläche hat. Und auch bei dem nachträglichen Brennen werden die Gliedmaßen rascher schwinden als der Rumpf, weil dieser die ihm zugeführte Hitze langsamer aufnimmt. Es treten infolgedessen bei der allmählich verlaufenden Schwindung Spannungen ein, welche zu Zerreißungen führen können, wenn man nicht durch besondere Vorsichtsmaßregeln für einen möglichst gleichmäßigen Verlauf der Schwindung in allen Teilen des geformten Objektes sorgt. Aus diesem Grunde muß der Töpfer, so hoch er auch die wunderbare Eigenschaft der Plastizität seines Rohmaterials schätzt, stets dafür sorgen, daß die Formbarkeit nicht größer ist als für die Herstellung der

gewünschten Gestalt gerade notwendig erscheint. Da man nun sehr plastische Tone als „fett" bezeichnet, so nennt man Gemengteile eines Tones, welche die Plastizität desselben verringern, Magerungsmittel. Ein solches schon von der Natur den meisten Tonen beigegebenes Magerungsmittel ist der feine Quarzsand (Staubsand), den fast alle Tone enthalten. Von der Erkenntnis dieser Tatsache bis zum absichtlichen Zusatz von feinem Sand zu einem Ton, der an sich nicht plastisch ist, ist nur noch ein Schritt. Derselbe reicht bis ins graue Altertum zurück und war der Ausgangspunkt für die Beeinflussung natürlicher Tone durch passende Zusätze, die Herstellung der sog. „künstlichen Massen".

Aber nicht nur der Quarzsand ist ein unentbehrliches Magerungsmittel, sondern es wirken als solche auch alle anderen, nicht plastischen Bestandteile eines Tones und insbesondere die schmelzbaren oder sog. Sinterungsmittel, welche ihrerseits an den Schwindungsvorgängen erst beim Einsetzen der Feuerschwindung sich beteiligen, der Trockenschwindung aber entgegenarbeiten. In dem vorhin gewählten Beispiel des Porzellantones ist also der Feldspat, solange er noch in fein verteilter fester Form vorliegt, in der feuchten formbaren Masse ein Magerungsmittel, beim nachträglichen Brennen aber die Ursache der Schwindung. Endlich kann man sich noch vorstellen, daß es Magerungsmittel gibt, welche die chemische Zusammensetzung eines Tones gar nicht ändern, obgleich sie auf die Plastizität desselben einwirken. Man braucht nur einen plastischen Ton in Form roher Klumpen zu brennen und dann zu feinem Pulver zu zermahlen. Dieses Pulver kann man demselben Ton im rohen, feuchten, plastischen Zustande in beliebiger Menge hinzusetzen. Da der einmal gebrannte Ton nicht mehr plastisch ist und auch durch Befeuchtung nicht mehr plastisch wird, so wirkt ein solcher Zusatz als Magerungsmittel, das schließlich hergestellte Objekt aber hat dieselbe Zusammensetzung, als wenn es ganz und gar aus dem ursprünglichen Ton geformt worden wäre. Diese Art der Magerungsmittel bezeichnet man als „Schamotte", sie spielen eine ganz außerordentlich wichtige Rolle bei der Herstellung der meisten Tonwaren.

Ehe ich einen Überblick über die verschiedenen Arten der Tonwaren und über die Art ihrer Herstellung gebe, möchte ich noch auf die grundlegenden Ursachen der Formbarkeit der Tone hinweisen, wie sie namentlich in neuerer Zeit in weitergehendem Maße, als es früher geschah, berücksichtigt und durchforscht worden sind. Die eigentliche Tonsubstanz, als deren Prototyp wir das wasserhaltige Aluminiumsilikat genannt haben, die aber zweifellos in verschiedenen Formen existiert, ist im Gegensatz zu den meisten anderen natürlich vorkommenden Silikaten nicht kristallinisch, sondern ein kolloidaler Körper. Als solcher bildet sie mikroskopisch feine gallertartig aufgequollene Klümpchen von unbestimmter Gestalt, welche jedem Drucke nachgeben und sich anderen Körpern, mit denen sie in Berührung kommt, anzuschmiegen vermögen. Diese Eigenschaft bedingt das Festhalten der Tonteilchen aneinander und an Substanzen, mit denen sie gemengt sind. Und wie andere wasserhaltige kolloidale Körper, so besitzen auch die Tonteilchen die Eigenschaft, beim Trocknen und dem damit zusammenhängenden Wasserverlust sich zu kontrahieren, wobei der Zusammenhang mit Fremdkörpern, an denen sie adherieren, nicht aufgehoben wird, sondern infolge von Adhäsion bestehen bleibt. Die Tonsubstanz ist daher in ihrer Wirkung vielfach den anderen, meist organischen Kolloiden wie Leim, Kasein, Kautschuk usw. vergleichbar, und in der Tat ist es möglich, die Plastizität eines Tones, der an sich für die beabsichtigte Formung zu mager ist, dadurch zu erhöhen, daß man ihm organische Kolloide absichtlich zusetzt oder, wie es bei dem sog. Faulen der Tone der

Abbildung 12. Umfangreicher Tagbau auf Kaolin der Westböhmischen Kaolin- und Schamottewerke zu Oberbris bei Pilsen.

Fall ist, in ihm sich bilden läßt. Diese Substanzen dienen dann dem Töpfer bei der Formung des Tones, verschwinden aber selbstverständlich beim nachträglichen Brennen, wo dann die in Fluß kommenden Sinterungsmittel den Zusammenhang des Scherbens verbürgen.

Alle keramische Arbeit beginnt mit der bergmännischen Gewinnung der ihr zugrunde liegenden Tone und sonstigen Materialien. Da die Tone zu dem Sedimentärgestein gehören und die Produkte der Schlämmwirkung des auf der Erdoberfläche zirkulierenden Wassers sind, so liegen sie meist unmittelbar an der Oberfläche und können im Tagebau gewonnen werden. Ausnahmen kommen natürlich vor, sind aber nicht häufig. Der künstliche synthetische Aufbau von Silikaten vom Charakter der Tone ist zwar gewiß möglich, aber seine Verwirklichung hätte technisch nicht das geringste Interesse, da solche Produkte nicht zu dem billigen Preise gewonnen werden könnten, zu welchem die Erde sie uns in unerschöpflicher Fülle liefert. Die „künstlichen Massen", von welchen die Tonindustrie oft genug redet, sind also nicht etwa synthetische Tone, sondern sie sind Gemische natürlicher Tone verschiedenen Charakters unter sich oder mit anderen Mineralien. Die heutige Tonindustrie arbeitet wohl häufiger mit diesen künstlichen Massen als mit ganz unvermengten Naturtonen, bei denen nur selten alle Eigenschaften so entwickelt sind, wie wir sie für einen bestimmten Zweck haben wollen. Der große Fortschritt der modernen, auf wissenschaftlicher Basis arbeitenden Keramik besteht eben darin, daß wir den Zusammenhang kennen, der zwischen den Bestandteilen eines Tones und seinen Eigenschaften besteht und demgemäß von der Natur verschiedenartig gemischte Tone so miteinander vermengen können, daß die günstigste Wirkung aller Gemengteile zutage tritt.

Der rohe Ton ist auch insofern nicht ohne weiteres zur Formung von Töpferwaren geeignet, als er meist grobkörnige mineralische Beimengungen, Kieselsteine, Kalkkonkretionen, Eisenkies und vieles andere, sowie organische Reste, Baumwurzeln, Muscheln, Versteinerungen und dergleichen enthält, welche alle beseitigt werden müssen. Am besten geschieht dies in der Weise, daß man die unvollendet gebliebene Arbeit der Natur zu Ende führt, indem man den Ton mit Wasser zu einem dünnen Brei vermengt („Einsümpfen") und nun durch eine methodisch geleitete Sedimentation in seine Bestandteile zerlegt. Es liegt in der Natur der Sache, daß dieser Schlämmprozeß um so sorgfältiger und vorsichtiger durchgeführt werden muß, je edler die Qualität des Tones und die aus ihm schließlich herzustellende Ware ist. Die Schlämmung der in der Porzellanindustrie benutzten Kaoline geschieht z. B. in kellerartigen Gewölben von stets gleichmäßiger Temperatur und mit lauwarmem Wasser von möglichst geringem Kalkgehalt. Anderseits werden ordinäre Vorkommnisse, wie z. B. Ziegeltone, in Gruben geschlämmt, welche unter freiem Himmel in der Erde ausgegraben sind. Dazwischen liegen alle denkbaren Abstufungen der Verfeinerung dieses einfachen, aber wirksamen Aufbereitungsverfahrens.

Abbildung 13. Porzellanfabrikation.
Die Kaolinschlämmerei der Königl. Porzellanmanufaktur zu Berlin.
Aus dem Verlag der Neuen Photographischen Gesellschaft, Steglitz-Berlin: „Das photographische Anschauungsmittel".

Die sonstigen Zusätze, welche einer keramischen Masse gegeben werden sollen, werden in passenden, meist sogenannten nassen Mühlen mit Wasser auf das feinste zermahlen. Sie bilden dann ebenso wie der geschlämmte Ton milchige Flüssigkeiten, sog. „Trüben", deren feste Teilchen sich wegen ihrer außerordentlichen Feinheit nur ganz langsam zu Boden setzen. Es ist in Form solcher Trüben, daß die Bestandteile aller künstlichen Massen miteinander vermengt werden.

Aus den Trüben kann man die formbare keramische Masse dadurch gewinnen, daß man sie ruhig stehen läßt und von dem ausgeschiedenen Schlamm das überstehende klare Wasser abzieht. Da dieser Prozeß längere Zeit erfordert und einem ungleichmäßigen Absetzen der verschiedenen Bestandteile der Trübe Vorschub leistet, so pflegt man in neuerer Zeit die festen Bestandteile einer Trübe von dem beigemengten Wasser mit Hilfe der so außerordentlich wirksamen Filterpressen zu trennen. In jedem Falle bekommt man plastische Massen, welche gewöhnlich noch zur Erzielung der höchsten Gleichmäßigkeit auf Maschinen oder von Hand durchgeknetet werden. Nun erst kann die Masse verformt werden, doch ist es in den meisten keramischen Betrieben üblich, sie nach der Herstellung längere Zeit in kühlen, feuchten Kellern aufzubewahren, weil sie dabei durch den Vorgang des sog. „Rottens" erhöhte Plastizität gewinnt. In den Porzellanfabriken werden die Massen oft jahrelang aufbewahrt, ehe man sie verarbeitet; und in China und Japan sollen die berühmten Porzellankünstler nicht selten Massen verwenden, welche 100 Jahre und darüber aufbewahrt worden sind.

Die Formung der einfachsten Tonwaren, wie Ziegel, Platten und dergleichen, geschieht durch Zerschneiden passender Blöcke des feuchten formbaren Tones in Stücke. Feinere Ziegel, Tonfliesen und derartige Waren werden heute auch in wachsendem Umfange durch Zusammendrücken der nur schwach befeuchteten pulverigen Tonmassen in hydraulischen Pressen geformt. Für die Herstellung von Gefäßen bedient man sich schon seit der Zeit der alten Ägypter der sog. Drehscheibe, eines runden, in rasche Rotation versetzten Tischchens. Auf dieses wird ein Klumpen des feuchten plastischen Tones gesetzt und nun durch Drücken mit den Fingern in jede beliebige Gestalt gebracht, die aber, da ja die Scheibe in fortwährender Umdrehung sich befindet, immer ein Rotationskörper sein wird. In dieser Weise können aus freier Hand Vasen und Töpfe in endloser Mannigfaltigkeit der Gestalt hergestellt werden, und ein geübter Töpfer bringt es fertig, hintereinander ohne besondere Hilfsmittel mehrfach solche Objekte von ganz gleicher Form und gleichem Inhalt aufzubauen.

Abbildung 14. Porzellanfabrikation. Formung auf der Drehscheibe.
Aus dem Verlag der Neuen Photographischen Gesellschaft, Steglitz-Berlin: „Das photographische Anschauungsmittel".

Wenn es sich nun aber darum handelt, in fabrikmäßigem Betriebe Tausende von Tassen, Tellern, Schalen von ganz genau gleicher Größe und gleichem Gewicht herzustellen, dann nimmt der Töpfer außer der Drehscheibe auch noch eine Gipsform zu Hilfe, welche genau zentriert, auf die Drehscheibe aufgesetzt und in die der zu einer schmiegsamen Platte ausgewalzte Ton mit den Fingern hineingedrückt wird. Zur Erzielung genau gleicher Wandstärke aller Stücke bedient man sich der „Lehren", ausgeschnittener Bleche, welche in die Form passen und den Überschuß an Ton aus den geformten Stücken herauskratzen. Aus der Gipsform läßt das gebildete Objekt sich schon nach wenigen Minuten entfernen, weil dieselbe porös ist und das Wasser des Tones an sich zieht, durch dessen Verlust sich dann das Objekt zusammenzieht und leicht aus der Form sich herausstülpen läßt.

Abbildung 15. Porzellanfabrikation. Formung durch Pressen der Masse. (Herstellung von Isolatoren.)
Aus dem Verlag der Neuen Photographischen Gesellschaft, Steglitz-Berlin: „Das photographische Anschauungsmittel".

Auf einem ähnlichen Vorgang beruht das „Gießen" der Tonwaren. Eine hohle, aus mehreren Teilen bestehende Gipsform wird mit ganz dünnem Tonbrei, sog. „Schlicker", vollständig gefüllt. Die saugende Form reißt das Wasser aus dem unmittelbar benachbarten Teil des Schlickers an sich und bildet

eine zusammenhängende lederartige Schicht, aus welcher der flüssig gebliebene Schlicker herausgegossen werden kann. Nach abermaligem Verlauf einiger Minuten hat eine weitere Kontraktion der verdichteten Tonschicht stattgefunden, die Form kann in ihre Teile zerlegt werden, und das gegossene keramische Objekt hat Festigkeit genug erlangt, um nun sich selbst zu tragen und auszutrocknen.

Neben diesen am meisten benutzten Arten der Formung existieren noch viele andere, welche hier nicht alle aufgezählt werden können. Unter allen Umständen muß das Formstück einer ganz langsamen, möglichst gleichmäßigen Trocknung ausgesetzt werden und erst wenn diese, welche mitunter Tage, ja sogar Wochen und Monate erfordert, beendigt ist, kann das Brennen stattfinden.

Zum Brennen der Tonwaren bedient man sich der keramischen Öfen, welche in ihrer Konstruktion ebenso mannigfaltig sind wie die Tonwaren, deren Herstellung in ihnen erfolgt.

Bei den ganz billigen ordinären Tonwaren, wie z. B. Ziegeln, Blumentöpfen u. dgl., kommt es hauptsächlich darauf an, mit einem möglichst geringen Aufwand an Brennmaterial eine möglichst große Menge von Waren fertigzustellen. Auf diesem Gebiet ist durch die Ringöfen, um deren Ausbildung der schlesische Ziegeleibesitzer Hoffmann sich ein großes Verdienst erworben hat, Außerordentliches geleistet worden. Diese Öfen bestehen aus mehreren (gewöhnlich 16) miteinander zusammenhängenden Kammern, von denen jeweilig eine bis zwei in vollem Brande stehen und eine Zufuhr von Feuerungsmaterial erhalten. Dieses Material wird mit Hilfe von heißer Luft verbrannt, deren Vorwärmung dadurch erfolgt, daß sie durch diejenigen Kammern hindurchgesogen wird, deren Brand bereits beendet ist und deren Inhalt einstweilen sich noch in glühendem Zustande befindet. Die Abgase der brennenden Kammer werden durch diejenigen Kammern geleitet, welche mit frischer Ware vollgepackt sind. Dabei wird diese in methodischer Weise immer schärfer getrocknet und schließlich bis zur Glut erhitzt, bis endlich der Moment eintritt, wo der vorschreitende Brand um eine Kammer weiterrückt. Dasselbe Prinzip läßt sich auch bei Öfen anwenden, welche zur Herstellung edlerer Ware bestimmt sind; es entsteht so eine ganze Reihe von Konstruktionen, auf deren Einzelheiten natürlich hier nicht eingegangen werden kann.

Abbildung 16. Porzellanfabrikation.
Formung durch Gießen der Masse.
Aus dem Verlag der Neuen Photographischen Gesellschaft, Steglitz-Berlin: „Das photographische Anschauungsmittel".

Derartige Öfen eignen sich indessen, wie eine einfache Überlegung zeigt, nur für die Massenproduktion gleichartiger Artikel. Feinere Objekte, namentlich die unendlich mannigfaltigen Produkte des keramischen Kunstgewerbes, werden in Öfen gebrannt, welche eine gewisse Individualisierung gestatten. Ein Beispiel dafür, wie auch hier eine möglichst sorgfältige Ausnutzung der von dem Brennmaterial erzeugten Wärme stattfinden kann, bietet der sog. Porzellanofen, welcher aus drei Kammern besteht, die vertikal übereinander angebracht sind. Der untersten dieser Kammern wird die Flamme

des verbrennenden Heizmaterials direkt zugeführt. Als solches wird mit Vorliebe Holz benutzt, aber auch Steinkohlen oder Brenngase aller Art können Verwendung finden. In dieser untersten Kammer entsteht die größte Hitze, und in ihr kann der sog. Glattbrand, d. h. die Fertigstellung des Porzellans, erfolgen, eine Arbeit, welche so ziemlich die höchsten Temperaturen verlangt, welche technisch mit Hilfe von Brennmaterialien erreicht werden können. Die Temperatur der untersten Kammer des Porzellanofens beträgt etwa 1500°. Infolgedessen sind die abziehenden Gase immer noch sehr heiß, und es kann mit ihrer Hilfe in der zweiten Kammer, in welche sie nun hineingeleitet werden, eine Temperatur von etwa 900—1000° erzielt werden, wie man sie als Hellrot- oder Gelbglut bezeichnet. Bei dieser Temperatur findet das Vorbrennen oder Verglühen des Porzellans statt, von welchem später die Rede sein wird. Mit den aus der zweiten Kammer abziehenden Gasen kann nun noch in der dritten oder obersten Kammer eine Temperatur von 600 bis 700° erreicht werden, wie sie erforderlich ist, um die in der Porzellanfabrikation benutzten Kapseln zu brennen. Erst aus diesem Teil des Ofens entweichen die Feuergase ins Freie.

Abbildung 17. Porzellanfabrikation. Dekoration der fertiggebrannten Ware durch Bemalen und Einbrennen der Farben in der Muffel. Aus dem Verlag der Neuen Photographischen Gesellschaft, Steglitz-Berlin: „Das photographische Anschauungsmittel".

Diese Beispiele mögen genügen, um einen Begriff von den eigentlichen Brennöfen der keramischen Industrie zu geben. Daneben finden noch Muffelöfen ausgedehnte Verwendung, geschlossene Kammern, welche von der Flamme des Brennmaterials umspült werden, und in denen man keramische Waren namentlich für die Zwecke des Einbrennens der aufgetragenen Farben, Metallüberzüge u. dgl. auf die verschiedensten Temperaturen erhitzen kann.

Beim Brennen der Tonwaren darf auch die chemische Wirkung der Feuergase auf das zu brennende Objekt nicht außer acht gelassen werden. Es kommt sehr viel darauf an, ob die Flammen reduzierend oder oxydierend sind. Das erstere ist der Fall, wenn die brennbaren Gase, das letztere, wenn die zu ihrer Verbrennung dienende Luft im Überschuß vorhanden sind. Sowohl von der Oxydations- wie von der Reduktionswirkung der Flammengase macht der Keramiker weitgehenden Gebrauch, ja, mitunter sieht er sich veranlaßt, rußende Flammen in seinem Ofen zu erzeugen; dann spricht er von „schmauchender Feuerung". Die Feuergase führen aber auch staubförmige Verunreinigungen mit sich, namentlich dann, wenn sie aus festem Brennmaterial erzeugt werden, dessen feinverteilte Asche sich dem raschströmenden Gasstrom beimengt. Solche Ascheteilchen, welche fast immer eisenhaltig sind, können sich auf der zu brennenden Ware festsetzen und, indem sie sich in den schmelzenden Teilen derselben auflösen, böse Verfärbungen hervorbringen. Aus diesem Grunde brennt man nur ordinäre Tonwaren so wie sie sind, indem man sie auf- und übereinander in den Ofen hineinstellt. Feinere Tonwaren werden fast immer gekapselt, d. h. in verschließbare Töpfe aus hoch feuerfestem Ton, sog. Kapseln, hineingestellt

und mit diesen zusammen gebrannt, so daß die Glut durch die Kapseln hindurch auf das zu brennende Objekt sich überträgt, dieses selbst aber mit den Feuergasen nicht in Berührung kommt.

Je nach dem Gehalt der keramischen Masse an Sinterungsmitteln können beim Brennen des Objektes die beim Trocknen entstandenen Poren desselben entweder von dem sich bildenden Glasfluß vollständig ausgefüllt werden, oder es dient derselbe bloß zu einem Verkleben der fest gebliebenen Bestandteile, ohne daß die Poren sich schließen. Man kann somit beim Brennen der Tonwaren je nach der Zusammensetzung der Masse, aus der sie geformt sind, entweder einen dichten „verglasten" oder einen porösen Scherben erhalten, der bei nachträglicher Befeuchtung Flüssigkeiten gierig in sich aufnimmt. Die meisten natürlichen Tone liefern beim Brennen einen porösen Scherben, und das Altertum hat nur poröse Tonwaren gekannt. Da nun keramische Massen aller Art hauptsächlich zur Anfertigung von Gefäßen dienen, so ist der poröse Charakter derselben nicht immer erwünscht. Für gewisse Gefäße, wie z. B. Blumentöpfe oder die in südlichen Ländern benutzten Wasserkühlflaschen (alcarazas), ist dies allerdings der Fall; aber Gefäße, welche zur Zubereitung oder Aufbewahrung von Speisen dienen sollen, lassen sich offenbar nicht wieder ordentlich reinigen, wenn sie sich mit der Flüssigkeit, welche sie enthalten, vollsaugen. Die antiken Töpfer halfen sich in der Weise, daß sie die fertigen Gefäße mit geschmolzenem Wachs tränkten oder beim Brennen so stark schmauchende Flammen benutzten, daß die Poren des Scherbens sich ganz und gar mit Kohle füllten. Eine endgültige Abhilfe brachte aber erst die Erfindung der Glasur, welche freilich schon den Ägyptern bekannt war, aber erst im frühen Mittelalter zu allgemeiner Verwendung gelangte.

Eine Glasur ist eine dünne Schicht wirklichen Glases, mit welchem der Scherben des keramischen Objektes überzogen ist und welches alle vorhandenen Poren zuschließt, so daß der Inhalt des Gefäßes nicht mehr in den Scherben hineindringen kann.

Aber nicht nur der Abdichtung des Scherbens gegen die Flüssigkeiten, mit denen er nachträglich in Berührung kommt, dient die Glasur. Sie wird außerordentlich häufig auch solchen keramischen Objekten gegeben, welche an sich einen verglasten Scherben besitzen. Der Scherben derartiger Tonwaren ist an seiner Oberfläche stets rauh, er neigt daher dazu, von weichen festen Körpern, mit denen er in Berührung kommt, Teilchen abzuschleifen und auf sich festzuhalten; er ist, mit anderen Worten, der Beschmutzung sehr zugänglich. Versieht man einen derartigen Scherben mit einer Glasur, so wird er glatt und infolgedessen sehr viel weniger beschmutzbar. Aus diesem Grunde wird das Porzellan, obgleich es einen Scherben von idealer Verglasung besitzt, fast immer glasiert und nur ausnahmsweise in unglasiertem Zustande fertiggestellt.

Aus vorstehenden Ausführungen ergibt sich, daß alle glasierten Tonwaren aus zwei voneinander vollständig verschiedenen Schichten bestehen, dem inneren, die Hauptmasse bildenden Scherben und der äußeren, in dünner Schicht ihn überziehenden Glasur. Ein dauernder Zusammenhang beider Schichten ist selbstverständlich nur dann denkbar, wenn beide annähernd denselben linearen Ausdehnungskoeffizienten besitzen. Ist dies nicht der Fall, so müssen starke Spannungen entstehen, und zwar können dieselben in zwei verschiedenen Weisen auftreten. Ist der Ausdehnungskoeffizient der Glasur größer als derjenige des Scherbens, so wird nach dem Erkalten die Glasur für den Scherben zu klein sein, sie wird an unendlich vielen Stellen zerreißen. Es entsteht der so außerordentlich häufig auftretende Fehler der Glasurrisse.

Ist dagegen der Ausdehnungskoeffizient der Glasur kleiner als der des Scherbens, so wird nach dem Erkalten die Glasur für den Scherben zu groß sein, der Scherben wird, da er viel massiger ist als die Glasur, nicht zerrissen werden, aber es wird der Zusammenhang zwischen Glasur und Scherben sich lösen, und die Glasur wird abblättern.

Die Vermeidung solcher Fehler ist nur dadurch möglich, daß Scherben und Glasur auf das genaueste gegeneinander abgestimmt werden, und wenn auch die heutige Keramik auf diesem Gebiete so gut wie vollkommene Resultate zu erzielen vermag, so ist es anderseits doch begreiflich, daß dem Keramiker in der Zusammensetzung seiner Glasuren ungemein enge Grenzen gezogen sind, deren genaue Feststellung und Innehaltung oft die größten Schwierigkeiten bereitet. Die Methoden der heutigen Keramik verdanken eben ihre Vollkommenheit nur dem Umstande, daß sie das Produkt einer Jahrhunderte alten, durch moderne wissenschaftliche Arbeit vertieften und nach allen Richtungen begründeten Erfahrung sind.

Die vorstehenden Ausführungen dürften genügen, um nun auf Grund derselben einen gedrängten Überblick über die verschiedenen Arten der keramischen Erzeugnisse und die Art und Weise ihrer Herstellung zu geben, und gleichzeitig kann im Zusammenhang mit diesen technischen Darlegungen die Geschichte der keramischen Gewerbe gestreift werden.

Die Erzeugnisse aus geformtem und dann in der Luft getrocknetem, aber nicht gebranntem Ton sind natürlich die ältesten von allen. Dieses Material ist es, welches den Bewohnern der an schönen Tonen außerordentlich reichen Euphrat- und Tigrisländer, den Babyloniern und Assyriern, zur Aufführung von Bauten diente, deren Reste die Jahrtausende überdauert haben, obgleich man meinen sollte, daß der erste Regenguß genügen würde, um sie in den Schlamm zurückzuverwandeln, aus dem sie entstanden waren. Aber getrockneter Ton erweicht nur langsam, er ist daher in Ländern mit im allgemeinen trockener, nur gelegentlich durch Regengüsse unterbrochener Witterung ein ziemlich dauerhaftes Baumaterial. Als solches hat er sich bis auf den heutigen Tag in Ägypten und Südeuropa, in Ungarn, ja sogar an gewissen Orten in Süddeutschland erhalten, während er im Norden, wo feuchte Witterung mitunter wochenlang andauert, nicht verwendbar ist. Bemerkenswert ist eine Verwendung des ungebrannten Tons, welche die Assyrier und Babylonier besaßen. Diese benutzten ihn in Form von flachen Täfelchen oder achteckigen Prismen, sog. Zylindern, zur dauernden Aufbewahrung schriftlicher Aufzeichnungen, indem sie ihre Keilschrift in den noch feuchten Ton eingruben oder eindrückten. So entstand die weltberühmte Bibliothek zu Ninive, durch deren Ausgrabung und Entzifferung unser Wissen über jene Stätten frühester Kultur eigentlich erst entstanden ist.

Wie schon erwähnt, bedeutet das Brennen geformter Tonwaren einen ganz außerordentlichen Fortschritt, indem dadurch das keramische Objekt dauernde Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit erlangt. Daß dies schon den alten Ägyptern bekannt war, ist durch die Untersuchung alter Ziegelbauten des Niltales sowie durch Abbildungen auf den Tempelreliefs von Beni-Hassan mit Sicherheit erwiesen. Wir wissen ferner, daß die alten Etrusker, die Griechen und Römer ihre Tonwaren brannten. Auch die alten Kulturvölker von Zentral- und Südamerika haben uns gebrannte Tonwaren in großer Menge und von oft wunderbarer Schönheit hinterlassen. Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß das bloße Brennen geformter Tone bei nicht allzuhoher Temperatur einen porösen Scherben erzeugt, und es sind die Hilfsmittel erwähnt worden, deren das Altertum sich bediente, um die Poren solcher Tonwaren, wo es

erforderlich schien, zu schließen. Ein noch nicht erwähntes Hilfsmittel dieser Art, welches nur eine partielle Schließung der Poren bewirkt, bestand in einer Technik, deren Erzeugnisse bei den Archäologen den Namen „Terra sigillata" führen. Die Art ihrer Herstellung galt lange Zeit als ein verlorenes, unergründliches Geheimnis, bis der bayrische Töpfer Fischer feststellte, daß diese Technik darin bestand, das geformte, getrocknete oder leicht vorgebrannte Objekt in einen dünnen Schlicker von sehr fettem Ton zu tauchen und nach dem Trocknen mit einer feinen Bürste oder einem wollenen Tuche kräftig zu reiben. Dadurch werden die groben Poren des mageren Tones, der die Hauptmasse des Scherbens bildet, durch die sehr kleinen kolloidalen Teilchen des fetten Tones zugestopft, und es entsteht eine seidig schimmernde Oberfläche von glasurartigem Aussehen. Der Name „Terra sigillata" ist diesen Waren deshalb gegeben worden, weil der im Altertum benutzte fette Ton meist in tiefroter Farbe gewählt wurde, wodurch die Ware nach dem Brennen die Farbe und den Glanz von rotem Siegellack erlangte.

Porös gebrannte unglasierte Tonwaren werden auch heute noch in großer Menge erzeugt, in erster Linie kommen als solche die gewöhnlichen Bauziegel in Betracht, welche um so feinporiger sich erweisen, je schärfer sie gebrannt sind. Feinporige Ziegel lassen sich auch dadurch erzeugen, daß man sie aus einem nur wenig befeuchteten Ton hydraulisch preßt. Sehr dichte Ziegel haben infolge ihres geringen Luftgehaltes einen helleren Klang als sehr poröse und heißen deshalb „Klinker".

Als „Terrakotten" bezeichnet man Tonwaren, welche aus gut ausgelesenen besseren Tonen unter reichlichem Zusatz von Schamotte als Magerungsmittel hergestellt sind. Aus Terrakottamasse werden architektonische Ornamente verschiedenster Art, figürliche Darstellungen, Schmuckvasen u. dgl. erzeugt. In Amerika ist die Terrakottatechnik in hohem Maße vervollkommnet worden, seit es dort üblich geworden ist, sehr hohe Häuser ganz und gar in Stahlkonstruktion zu erbauen und nur nach außen hin durch angeschraubte Tonplatten abzuschließen. Es werden zu diesem Zwecke Terrakottaplatten in riesenhaften Dimensionen geformt. Während ordinäre poröse Tonwaren, wie Ziegel und Blumentöpfe, ohne weiteren Schutz gebrannt werden, pflegt man feinere Terrakotten in Kapseln oder aus feuerfesten Platten gebildeten Kammern im Ofen einzuschließen.

Eine besondere Abart der porösen Tonwaren sind die feuerfesten Tonwaren, zu deren Herstellung natürlich vorkommende Tone benutzt werden, welche einen ungewöhnlich geringen Gehalt an Sinterungsmitteln aufweisen. Derartige Tone finden sich nicht häufig, aber sie kommen doch in den meisten Kulturländern in ziemlich ausgedehnten Lagern vor. Die aus ihnen geformten Ziegel, Platten, Tiegel usw. bilden wichtige Konstruktions- und Arbeitsmaterialien für die Metallurgie und sonstigen Gewerbe, welche bei hoher Temperatur arbeiten. Für gewisse, namentlich metallurgische, Zwecke werden derartigen Tonen andere Substanzen von hoher Hitzebeständigkeit beigemengt. Als solche kommen Quarzpulver, Graphit und in neuerer Zeit auch Siliziumkarbid (Carborundum) in Betracht. Solche verhältnismäßig kostspielige Mischungen dienen namentlich zur Herstellung von Schmelztiegeln und Retorten für Stahl, Gold, Silber, Zink und andere Metalle. Die hochfeuerfesten Erzeugnisse der Keramik können als eine Errungenschaft der Neuzeit gelten, welche erst entstanden, aber auch notwendig geworden ist durch die neuzeitlichen Fortschritte der Feuerungstechnik.

Wir kommen nun zu den Tonwaren mit porösem Scherben, dessen Porosität durch eine Glasur unschädlich gemacht ist. Die alten Ägypter kannten bereits eine

gewisse Glasurtechnik, benutzten sie aber hauptsächlich zum Schmuck kleiner, aus Ton hergestellter Kunstwerke. Die altägyptischen Figürchen aus hellrotem, mit einer kupferhaltigen grünlichblauen Glasur überzogenem Ton finden sich in den meisten Museen. Die Glasierung von Gefäßen findet allgemeinere Anwendung erst im frühen Mittelalter und ist zuerst wahrscheinlich in Indien und Persien ausgeübt worden, von wo diese Technik an der Südküste des Mittelmeeres entlang bis nach Spanien sich verpflanzte. Hier wurde sie von den Mauren in musterhafter Weise ausgeübt und blühte besonders auf der an schönen Tonen reichen Inselgruppe der Balearen. Von dort stammen die heute als alte Kunstwerke hochgeschätzten Hispano-Mauresken, deren metallischer Glanz durch die Verwendung reduzierender Flammen im Ofen entstand. Ordinäre Tonwaren werden in der Weise glasiert, daß man sie im getrockneten oder leicht vorgebranntem Zustande in einen Schlicker aus Ton taucht, dem erhebliche Mengen eines fein gemahlenen Gemisches aus Bleioxyd und Zinnoxyd zugesetzt sind. Ein solches wird „Äscher" genannt und erhalten durch Schmelzen einer Legierung von Zinn und Blei in flachen eisernen Gefäßen und stetes Umrühren des geschmolzenen Metalles an der Luft. Diese Oxyde schmelzen mit dem Ton, aus dem der Schlicker besteht, beim nachträglichen Brennen des Objektes zu einem leichtflüssigen blei- und zinnhaltigen Glase zusammen. Dekorative Wirkungen können dadurch erzielt werden, daß man den geformten Gegenstand mit Überzügen oder Bemalungen aus andersgefärbten Tonen versieht. Derartige Überzüge schimmern nach dem Schmelzen der Glasur durch diese hindurch und heißen „Engoben".

Als „Steingut" bezeichnet man im Gegensatz zu den ordinären glasierten Tonwaren Gegenstände, welche aus hellerem, gleichmäßigerem und bei höherer Temperatur sich garbrennendem Ton hergestellt sind und eine Glasur tragen, welche zwar auch aus einem Bleiglas besteht, aber nicht erst beim Brennen des Objektes gebildet wird. Man stellt vielmehr das erforderliche Bleiglas vorher durch Zusammenschmelzen („Fritten") geeigneter Materialien dar, mahlt es dann mit Wasser zu einer Trübe und taucht in diese die geformten und fast immer bei niedriger Temperatur vorgebrannten Waren ein. Als „feines Steingut" bezeichnet man Tonwaren, deren Herstellungsweise in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in England ausgebildet worden ist und deren hauptsächlichstes Merkmal darin besteht, daß sie einen nahezu weißen Scherben besitzen, so daß sie bei Verwendung einer farblosen Glasur eine rein weiße Farbe zeigen, farbige Glasuren aber in dem vollen Glanze der ihnen erteilten Nuance zur Geltung kommen lassen. Der weiße Scherben des englischen oder Feinsteingutes besteht aus einer künstlichen Masse, welche aus einem weißbrennenden plastischen Ton unter Zusatz von Feuersteinmehl als Magerungs- und feinst gemahlenem Feldspat als Sinterungsmittel mit großer Sorgfalt zubereitet wird.

Die Begriffe des feinen und groben Steingutes lassen sich nicht scharf trennen, sondern es finden sich in der heutigen Technik zahllose Übergänge von einem zum andern und auch solche vom Steingut zu dem später zu erwähnenden Steinzeug.

Ein Vorläufer des Feinsteingutes war die im 15. Jahrhundert in Mittelitalien zu großer Vollkommenheit entwickelte Tonware, der ihre Hersteller zur Erinnerung an die damals hochgeschätzten keramischen Erzeugnisse der Insel Majorka den Namen der Majolika gaben, welcher in der keramischen Industrie sehr in Aufnahme gekommen ist und heute sich kaum noch auf ein Erzeugnis ganz bestimmter Herstellungsweise beschränken läßt. Charakteristisch für die Majolika ist im allgemeinen die Auswahl eines feinen, mit heller Farbe sich brennenden Tones und die Verwendung gefärbter bleiischer Glasuren. Schon die berühmten toskanischen Kunsttöpfer

des Cinquecento wußten, daß diese Glasuren durchsichtig sind, wenn sie bloß Blei enthalten, dagegen durchscheinend oder vollständig opak, wenn auch Zinn in ihre Zusammensetzung eintritt. Stark zinnhaltige Glasuren sind porzellanartig weiß und können daher die rötliche oder gelbe Farbe eines mehr oder weniger eisenhaltigen Materials verdecken.

Eine im 16. und 17. Jahrhundert in Holland aufgekommene und damals zur Nachahmung der importierten chinesischen Porzellane benutzte, auch heute noch viel geübte Technik liefert das „Delft", eine Ware mit blaßgelbem Tonscherben, stark zinnhaltiger, undurchsichtiger weißer Glasur und nachträglicher blauer Bemalung mit Hilfe von Smalte. Die Majolikatechnik der Italiener wurde später unter dem Einfluß der Mediceer-Heiraten französischer Könige nach Frankreich verpflanzt und gelangte dort namentlich im 17. Jahrhundert zu großer Blüte. In der ungeheuren Mannigfaltigkeit der heutigen Erzeugnisse der Steingutindustrie ist eigentlich nur noch der Umstand charakteristisch, daß dieselben stets in zwei Feuern gebrannt werden, von denen das erste das stärkere ist und den porösen Scherben so fertigstellt, wie er auf die Dauer bleiben soll. Damit ist die Schwindung des Scherbens endgültig abgeschlossen, ehe der Auftrag der Glasur erfolgt. Diese letztere wird von dem gebrannten Objekt aus einer Glasurtrübe aufgesogen und in einem zweiten Brande aufgeschmolzen, dessen Temperatur bloß so hoch gesteigert wird, als zum vollen Durchschmelzen und Zerfließen der Glasur erforderlich ist. Daß die Glasur trotzdem dem Scherben genau angepaßt sein, d. h. in ihrem Ausdehnungskoeffizienten demselben möglichst nahekommen muß, bedarf kaum der Erwähnung.

Von den Tonwaren mit dichtem verglastem Scherben ist das Steinzeug weitaus die älteste. Es unterliegt keinem Zweifel, daß natürliche Vorkommnisse, wie sie sich als sog. Steinzeugtone, von denen in Deutschland beispielsweise die hessischen und schlesischen besonders berühmt sind, die Veranlassung zur Erfindung des Steinzeugs gegeben haben. Diese sind sehr plastische Tone mit einem reichlichen natürlichen Gehalt an äußerst fein verteiltem Feldspat. Derselbe schmilzt bei nicht allzuhoher Glut und durchsetzt den beim Beginn des Brandes porösen Scherben, wobei vermutlich auch chemische Prozesse zwischen dem schmelzenden Mineral und den sonstigen Bestandteilen des Tones sich abspielen. Das Endprodukt ist eine Ware mit verglastem, nicht mehr saugendem Scherben, welche ohne weiteres zur Aufnahme und dauernden Aufbewahrung von Flüssigkeiten geeignet ist. Das Steinzeug ist daher frühzeitig das beliebteste Material zur Herstellung von Krügen, Kochgeschirren und anderen Gefäßen für die Haushaltung geworden. Da aber der im Brande schmelzende Anteil des Tones nicht ausreicht, um die vorhandenen Poren gänzlich auszufüllen, so muß der Scherben der Steinzeugwaren naturgemäß eine etwas rauhe Oberfläche aufweisen. Aus diesem Grunde macht sich zur Vermeidung allzu leichter Beschmutzung eine Glättung der Oberfläche durch eine passende Glasur doch notwendig, und es ist frühzeitig eine höchst eigenartige Technik erfunden worden, welche gestattet, dieses Ziel zu erreichen. Diese Technik besteht darin, daß man in den Ofen zu der Zeit, wo in ihm die höchste Hitze herrscht, Kochsalz einstreut, welches bei der Temperatur des Ofens rasch verdampft. Unter Mitwirkung des in den Feuergasen enthaltenen Wasserdampfes findet nun eine Umsetzung zwischen den Dämpfen des Kochsalzes und den Silikaten des Tones statt, und es entstehen neue, leichter schmelzbare Silikate, welche die Oberfläche der Ware überziehen, die dadurch nach der Beendigung des Brandes einen mattschimmernden, eigenartigen Glanz enthält. Das Steinzeug wird somit, wenigstens in seiner ursprünglichen Form, in einem ein-

Brennöfen der Kgl. Porzellanmanufaktur in Charlottenburg.

zigen Brande fertiggestellt und glasiert. Erst in neuerer Zeit hat man angefangen, manche feinere Erzeugnisse der Steinzeugindustrie, ähnlich wie es mit dem Steingut geschieht, zunächst vorzubrennen, um sie dann in einem endgültigen Brande zu vollenden. Auch in der Zusammensetzung der Glasur beschränkt sich die heutige Steinzeugindustrie nicht mehr auf die Verwendung des Kochsalzes, sondern hat es verstanden, durch Anwendung anderer verdampfbarer Metallchloride Abwechslung hervorzubringen, welche namentlich in der dekorativen Wirkung der erzeugten Ware zur Geltung kommt. Da alle Steinzeugtone einen gewissen Gehalt an Eisen und Mangan aufweisen, da ferner die Temperatur des Steinzeugbrandes eine solche ist, bei welcher bereits eine starke Dissoziation der Eisenoxydverbindungen stattfindet, so sind die eigentlichen Steinzeugwaren stets grau oder bräunlich durch die Masse gefärbt und zeigen diese Farbe auch an ihrer Oberfläche, da die Salzglasur vollkommen durchsichtig und sehr viel dünner ist als die Glasur des Steingutes. Anderseits hat die Steingutindustrie es verstanden, durch Herstellung künstlicher, an fein gemahlenem Feldspat sehr reichen Massen Erzeugnisse zu gewinnen, deren Scherben eine nahezu ebenso starke Verglasung zeigt wie derjenige des Steinzeuges. Es sind dies die vorerwähnten Übergänge vom Steingut zum Steinzeug, wie sie namentlich in der englischen Tonwarenindustrie in allen Abstufungen fabriziert werden. Auch manche deutsche keramische Erzeugnisse, so namentlich die seit Jahrhunderten berühmten Tonwaren von Bunzlau und das neuerdings in dieser schlesischen Industriestadt hergestellte Feinsteinzeug gehören in die Kategorie dieser Tonwaren, für welche es schwer wird, eine bestimmte Stellung in dem üblichen Klassifikationssystem anzuweisen.

In Ostasien — und zwar sowohl in China als auch in Japan — gibt es Tone, welche genau der vorhin für die Steinzeugtone gegebenen Charakteristik entsprechen, aber von unseren europäischen Steinzeugtonen sich dadurch unterscheiden, daß sie von Eisen und anderen färbenden Verunreinigungen frei sind und infolgedessen bei hoher Temperatur sich zu einem weißen Scherben brennen lassen. Wie in Europa das Vorkommen der Steinzeugtone zur Entwicklung der Steinzeugindustrie führte, so ist in Ostasien die Entdeckung reinweißer feldspatreicher, sich dichtbrennender Tone die Ursache der Erfindung des Porzellans geworden, welche zweifellos in China zuerst gemacht worden ist, aber nicht, wie mitunter behauptet worden ist, Jahrtausende, sondern nur Jahrhunderte weit zurückliegt. Von China verpflanzte sich die Herstellung des Porzellans nach Japan, und in beiden Ländern hat sich dieselbe zu einer Vollkommenheit entwickelt, wie sie bei uns vielleicht erreicht, aber sicherlich nicht übertroffen worden ist. Im 16. und noch mehr im 17. Jahrhundert gelangte das ostasiatische Porzellan durch Vermittlung der Portugiesen und Holländer auf die europäischen Märkte und erwarb sich bald einen derartigen Ruf, daß es nicht nur mit außerordentlichen Summen bezahlt wurde, sondern auch mehr als ein Jahrhundert lang die Erfinder der europäischen Industrieländer zu immer neuen Anstrengungen für die Darstellung einer ähnlichen Ware anregte. Unter den verschiedenen Lösungen, welche damals dieses Problem gefunden hat, ist zweifellos diejenige die vollkommenste, welche dem sächsischen Staatsgefangenen und Alchimisten Böttger unter Mitwirkung von Tschirnhausen gelang. Das Wesentliche dieser Erfindung bestand darin, hochfeuerfeste Tone durch willkürlichen Zusatz von fein gemahlenem Feldspat in ihrer Sinterungsfähigkeit zu beeinflussen. Auf diese Weise erzielte Böttger zunächst ein Produkt von graubrauner bis rotbrauner Farbe, aber mit vollkommen verglastem Scherben. Es war dies das heute als kunstgewerbliches Sammlungsobjekt ganz außerordentlich hoch bewertete Böttger-Porzellan. Durch Experimentieren mit

verschiedenen Tonen, wobei ihm der Tonreichtum der Meißener Gegend sehr zustatten kam, gelangte Böttger dazu, auch mit weißbrennenden Tonen den gleichen Effekt zu erreichen, und nun stellte sich heraus, daß das erzielte Produkt dem chinesischen Porzellan in allen Stücken gleich war.

Heute wissen wir, daß zur Erzeugung eines Porzellans eine natürliche oder künstliche Masse erforderlich ist, welche bei vollkommener Eisenfreiheit drei notwendige Ingredienzien besitzen muß. Dieselben sind:

1. Kaolin, d. h. das direkte Verwitterungsprodukt des Feldspates, die ideale Form des wasserhaltigen Aluminiumsilikats. Dieses Material bewirkt die Plastizität der Masse, gleichzeitig aber auch ihre Feuerfestigkeit, weil das reine Kaolin selbst bei den höchsten Temperaturen noch nicht schmelzbar ist.

2. Feldspat als Sinterungsmittel, welcher aber in der noch feuchten formbaren Masse gleichzeitig auch als Magerungsmittel dient. Beim Schmelzen des Feldspats finden chemische Umsetzungen statt, wobei das hochfeuerfeste Kristalle bildende wasserfreie Aluminiumsilikat, Silimanit, entsteht.

3. Quarz, welcher in der nassen Masse als Magerungsmittel dient, für den Brand aber zur Erhöhung der Feuerfestigkeit beiträgt und auch an den chemischen Vorgängen in der Masse sich beteiligt.

Diese drei Bestandteile finden sich in den erwähnten ostasiatischen natürlichen Vorkommnissen (z. B. dem japanischen Imariton) im richtigen Mengenverhältnis gemischt. Sie finden sich auch alle drei in den natürlich vorkommenden europäischen Porzellankaolinen, aber hier ist ihr Mengenverhältnis nicht das richtige, so daß die Fabrikation von Porzellan aus diesen Kaolinen erst gelingt, wenn man ihnen entweder fein gemahlenen Quarz oder fein gemahlenen Feldspat oder beides in solcher Menge zusetzt, daß das schließlich erzielte Produkt die richtigen Eigenschaften besitzt. In welcher Menge diese Zusätze zu geben sind, ist im Laufe der Zeit für die verschiedenen natürlichen Vorkommnisse festgestellt worden und läßt sich heute auch mit Hilfe der rationellen Analyse ohne weiteres für irgendeinen neuen Ton rechnerisch ermitteln. Doch muß sogleich gesagt sein, daß die Mengenverhältnisse der drei Bestandteile innerhalb weiter Grenzen variabel sind, und daß man es gerade durch Abstimmung ihrer Mengenverhältnisse in der Hand hat, die Eigenschaften des Porzellans zu modifizieren, seine Feuerfestigkeit zu erhöhen oder zu erniedrigen, es mehr oder weniger durchscheinend zu machen usw.

Wie bei dem nahe verwandten Steinzeug, so hat auch beim Porzellan der Scherben eine rauhe Oberfläche, wenn ihm nicht noch eine besondere Glasur gegeben wird. Dies geschieht nun in den meisten Fällen; nur für figürliche Darstellungen verwendet man gern unglasiertes Porzellan, um die matte Oberfläche zu erzielen, welche an Marmor erinnert. Unglasiertes Porzellan führt gewöhnlich den Namen „Biskuit". Die Glasur, welche dem Porzellan gegeben wird, ist für dasselbe eigentümlich und charakteristisch. Sie besteht aus einem Gemisch derselben Bestandteile wie das Porzellan selbst, in welchem aber der Gehalt an schmelzbaren Körpern, also in erster Linie Feldspat, erhöht ist. Oft werden auch noch geringe Mengen von Gips oder ähnlichen die Schmelzbarkeit befördernden Zusätzen gemacht. Überzieht man das Porzellan mit einer gleichmäßigen Schicht dieser feinst gemahlenen Glasur, so tritt für diese bei derjenigen Temperatur, bei welcher in dem Scherben selbst die Sinterung sich vollzieht, schon vollständige Schmelzung ein, und sie überzieht als ein zähflüssiges Glas die Oberfläche des Scherbens. Dadurch, daß die Glasur der Masse des Scherbens in ihrer Zusammensetzung nahe verwandt ist, wächst sie ge-

wissermaßen mit ihm zu einem einheitlichen Ganzen zusammen und hat viel weniger als die bleiischen Glasuren die Tendenz, sich von dem unterliegenden Scherben zu trennen. Nach dem Erkalten ist die Glasur nicht vollkommen durchsichtig, sondern, weil sie auch noch unschmelzbare Teilchen enthält, nur durchscheinend. Sie läßt die Masse des weißen Scherbens durch sich hindurchschimmern, und so kommt der schöne und sanfte Glanz zustande, durch den das Porzellan das kunstsinnige Auge entzückt.

Die Masse des Porzellans ist im feuchten Zustande wenig plastisch und muß mit aller Vorsicht geformt und getrocknet werden. Die trockene Ware wird dann in dem oberen Geschoß des Porzellanofens (siehe weiter oben die Beschreibung desselben) verglüht, d. h. bis etwa auf Silberschmelzhitze erhitzt, wobei der Scherben durch die eben begonnene Schmelzung der Sinterungsmittel die Festigkeit und den Zusammenhang gewinnt, welche für den Auftrag der Glasur erforderlich sind. Dieser erfolgt nach der allgemeinen Methode des Eintauchens in eine Trübe, d. h. die milchige Suspension der fein gemahlenen Glasur in Wasser. Nun werden die Waren abermals getrocknet, aufs neue eingekapselt und in den unteren heißesten Teil des Ofens eingebaut, wo bei etwa 1500° der Gar- oder Glattbrand erfolgt.

Die weiße Farbe des Porzellans, die Glätte, Feuerfestigkeit und der durchscheinende Charakter seiner Glasur steigern die Möglichkeit dekorativer Ausgestaltung auf das höchste Maß. Wenn man das Porzellan vor der Glasierung bemalt, dann schimmern die aufgetragenen Farben durch die Glasur hindurch. Sie müssen aber dann auch so beschaffen sein, daß sie der hohen Temperatur des Glattbrandes Widerstand leisten. Dies ist nur bei wenigen Farben der Fall, welche als „Scharffeuerfarben" bezeichnet werden. Die blauen Kobaltfarben entsprechen in weitestgehender Weise den Erfordernissen einer Unterglasurfarbe, daher sind blaue Bemalungen für Porzellane besonders beliebt. Die Unterglasurfarben werden durch die harte und widerstandsfähige Glasur vor allen nachträglichen Verletzungen geschützt und können daher als unzerstörbar gelten. Dies ist nicht der Fall bei den ebenfalls in ausgedehntem Maße zur Anwendung kommenden Überglasurfarben, mit welchen erst das fertige Objekt bemalt wird, um sie dann in Muffeln einzubrennen. Da aber hierbei keine höhere Temperatur angewendet zu werden braucht, als für die Schmelzung der benutzten Farben notwendig ist, so hat man bei der Verwendung von Überglasurfarben einen weit größeren Spielraum, und die Palette dieser Dekorationsmittel ist unvergleichlich viel größer als die der Scharffeuerfarben. Die färbenden Bestandteile der keramischen Farben sind, da diese letzteren ja nichts anderes sind als Gläser, dieselben, welche auch schon bei der Besprechung farbiger Gläser genannt wurden.

Das Porzellan und die meisten anderen keramischen Erzeugnisse lassen sich auch mit Überzügen aus Edelmetallen versehen. Am beliebtesten sind die Vergoldungen, welche auf guten Porzellanen in der Weise hergestellt werden, daß feinst verteiltes Gold mit Öl zu einer Malerfarbe angerieben und auf das fertige Objekt aufgetragen wird. Durch genügend hohes Erhitzen schmilzt das Gold an der Glasur fest. Es hat dann einen matten Glanz, kann aber durch Reiben mit dem Polierstahl hochglänzend gemacht werden. In neuerer Zeit werden auch die sog. Glanzmetalle für diesen Zweck verwendet; es sind dies Auflösungen von Salzen der Edelmetalle — Gold, Platin, Palladium u. a. — in Ölen, welche sich in einer dünnen Schicht auftragen lassen und beim nachträglichen Einbrennen ein feines Häutchen des Metalles an die Glasur angeschmolzen zurücklassen.

Wenn die Vorgänge bei der Herstellung der verschiedensten Tonwaren und auch die Natur dieser Waren selbst weniger einfach und durchsichtig sind als diejenigen,

welche bei der Fabrikation der Gläser sich abspielen, so hat doch eine vielhundertjährige Erfahrung auf diesem Gebiete, verbunden mit der von der Neuzeit hinzugefügten wissenschaftlichen Durchforschung nach allen Richtungen, eine Sicherheit in dieser Industrie zustande gebracht, welche in Verbindung mit der Mannigfaltigkeit der zu Gebote stehenden Mittel die Möglichkeit einer endlosen Variation der erzielten Effekte erzeugt und die Keramik zu dem dankbarsten Felde für die Betätigung kunstgewerblicher Bestrebungen macht. So wachsen aus den chemischen Eigentümlichkeiten der in der Industrie verarbeiteten Silikate die allerinnigsten und interessantesten Beziehungen zur bildenden Kunst hervor.

DIE CHEMISCHE INDUSTRIE DER ORGANISCHEN VERBINDUNGEN

Schon die Landwirtschaft, die älteste gewerbliche Tätigkeit des Menschen, kann, wenn sie wissenschaftlich betrieben werden soll, chemischer Gesichtspunkte nicht entbehren. Wenn nun die Erzeugnisse der Landwirtschaft einer weiteren Bearbeitung anheimfallen, so werden sie zum Gegenstande einer chemischen Industrie, und in diesem weitesten Sinne ist die chemische Technologie der Kohlenstoffverbindungen wohl das umfangreichste Kapitel der Technologie überhaupt. Aber in diesem weiten Sinne soll die Industrie der organischen Verbindungen hier nicht geschildert werden, sondern es soll nur im Anschluß an das, was in früheren Kapiteln über die Verwertung der Kohle gesagt wurde, die Verarbeitung des bei der Destillation der Steinkohle gewonnenen Steinkohlenteers kurz dargestellt werden.

Die am Ende des 18. Jahrhunderts geschaffene Gasfabrikation hat den bei der Abkühlung der aus den Retorten entweichenden Gase sich verdichtenden Teer ein halbes Jahrhundert lang als ein lästiges Nebenprodukt behandelt, dessen Beseitigung ihr häufig Sorge machte. Erst in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts begann die forschende Chemie bei dem Studium der Zusammensetzung des Steinkohlenteers auch mit technischen Problemen sich zu beschäftigen. Der Teer entpuppte sich mehr und mehr als das komplexeste Gemenge, welches überhaupt irgendwo zu finden ist, und die Ausarbeitung von Methoden zur Abscheidung und Reingewinnung der unzähligen in ihm vorhandenen Substanzen beschäftigt uns bis in die neueste Zeit.

Aber die Durchforschung eines chemischen Problems kann schon lange, ehe sie beendet ist, beginnen, Früchte zu tragen. So sind auch die Bestandteile des Steinkohlenteers in dem Maße, wie sie entdeckt und gewonnen wurden, mehr und mehr zu Ausgangsmaterialien industrieller Verwertung und zu Quellen des Wohlstandes geworden. Der Teer wurde bald ein wertvolles und hochgeschätztes Rohprodukt der Industrie, und gegen Ende der siebziger Jahre hatte seine Verwendung sich so entwickelt, daß man mit Besorgnis einem Mangel an Teer entgegensah. Zur rechten Zeit wurde die Destillationskokerei erfunden, bei welcher die Teerdämpfe der Koksöfen nicht, wie es früher der Fall war, mit den von der Kohle entwickelten Gasen zusammen verbrennen, sondern kondensiert und nutzbar gemacht werden. So steigerte sich die Teerproduktion in solchem Maße, daß sie auch dem heutigen kolossalen Verbrauch noch zu genügen vermag.

Es soll hier nicht der Versuch gemacht werden, die vielen Bestandteile des Teers aufzuzählen; es sei lediglich daran erinnert, daß sie fast alle zu der Gruppe der aromatischen Verbindungen gehören, d. h. zu jenen Abkömmlingen des Kohlenstoffs, bei welchen die Atome dieses Elements, zu Ringen zusammengeschlossen, mit Wasserstoff vereinigt sind. Durch diese von den gewöhnlichen sog. aliphatischen Kohlen-

stoffverbindungen abweichende Struktur erlangen die aromatischen Substanzen neue und wunderbare Eigenschaften.

Die wichtigste dieser Eigenschaften ist die Fähigkeit einer selektiven Absorption des Lichtes, d. h. sehr viele dieser Körper verschlucken aus dem ihnen zuströmenden weißen Sonnenlicht Strahlen gewisser Wellenlänge, so daß das übrigbleibende Strahlengemisch auf unser Auge den Eindruck der Farbe hervorbringt. Die Gesetzmäßigkeiten dieser Vorgänge, der Zusammenhang zwischen der in vollkommenster Weise erforschten Konstitution der aromatischen Verbindungen und der farbigen Erscheinung derselben sind heute schon in weitgehendem Maße erkannt. So erklärt es sich, daß eine ausgedehnte und ungemein mächtige Industrie emporgeblüht ist, welche sich nach streng wissenschaftlichen Grundsätzen mit der Herstellung von Farbstoffen, d. h. denjenigen aromatischen Verbindungen befaßt, bei denen die Fähigkeit der selektiven Absorption des Lichtes auf den sichtbaren Teil des Spektrums sich erstreckt und auf das höchste Maß gesteigert ist. Solche Körper können, wenn sie außerdem noch die entsprechenden Löslichkeitsverhältnisse aufweisen und aus ihren Lösungen von der kolloidalen Substanz der Faserstoffe absorbierbar sind, zur Färbung anderer industrieller Erzeugnisse, vor allem der Gespinst- und Papierfasern dienen, sie werden daher ganz allgemein als „Farbstoffe" bezeichnet und treten in erfolgreichen Wettbewerb mit den seit Jahrtausenden bekannten natürlichen Farbstoffen, welche wir dem Tier- und Pflanzenreiche entnehmen.

Es mag hier sogleich gesagt werden, daß zwischen den natürlichen und künstlichen Farbstoffen kein Gegensatz besteht, wie in ungenügend unterrichteten Kreisen mitunter angenommen wird. Auch die natürlichen Farbstoffe haben sich bei der weitgehenden Durchforschung, welche ihnen zuteil geworden ist, als Abkömmlinge der aromatischen Reihe der Kohlenstoffverbindungen erwiesen. Die im Teer enthaltenen aromatischen Substanzen sind in letzter Linie nur Umwandlungsprodukte der Körper gleicher Art, welche in den Pflanzen enthalten waren, aus denen die Steinkohle hervorgegangen ist. So hat man denn nicht mit Unrecht gesagt, daß die von der heutigen Industrie aus den Steinkohlen erzeugten Farbstoffe, Riechstoffe und Heilmittel eigentlich nichts anderes sind, als die Produkte der Pflanzenwelt einer um Jahrmillionen zurückliegenden Epoche in der Entwicklungsgeschichte unserer Erde. Sie bilden das Resultat der Wiederauferstehung von Farbenglanz und Blütenduft, welche die Erde geschmückt haben, lange ehe der erste Mensch sie betrat.

DIE ERSTE VERARBEITUNG DES TEERS

Der Steinkohlenteer ist bekanntlich tiefschwarz, aber man würde sich irren, wenn man in dieser dunklen Farbe ein Gemisch der vielen Farben sehen wollte, in denen die zahllosen aus dem Teer gewonnenen Farbstoffe erglänzen. Die schwarze Farbe des Teers rührt vielmehr von einer großen Menge von Ruß her, welcher in feinster Verteilung dem Teer beigemengt ist. Die eigentlichen Teerbestandteile sind fast alle farblos, in ihnen ist nur die Tendenz zur Bildung von Farbstoffen latent enthalten.

Es ist begreiflich, daß die Hunderte von Substanzen, aus welchen der Teer sich zusammensetzt, nicht ohne weiteres sich trennen lassen. Ihre Scheidung gelingt nur durch eine Reihenfolge von Maßnahmen, bei welcher zunächst immer Gruppen ähnlicher Körper abgeschieden werden, aus denen dann durch immer weitergehende Verarbeitung schließlich die chemischen Verbindungen im Zustande der Reinheit isoliert werden können.

Da alle Teerbestandteile flüchtig sind, so ist das wichtigste Hilfsmittel für die Zerlegung des Teers die Destillation. Der Teer wird bis zum Sieden erhitzt, seine Bestandteile sieden bei ganz verschiedenen Temperaturen und gehen daher nacheinander in den Dampfzustand über. Wenn man daher die bei den verschiedenen Temperaturen entstehenden Dämpfe gesondert verdichtet, so erhält man Destillate von verschiedenem Charakter und verschiedener Zusammensetzung. Man bezeichnet dieses auch sonst in der Chemie vielfach benutzte Trennungsverfahren als „fraktionierte Destillation".

Die Destillation des Teers geschieht in sogenannten Teerblasen, zylindrischen schmiedeeisernen Gefäßen, in welchen mehrere Kubikmeter Teer auf einmal erhitzt werden. Die übergehenden Dämpfe verdichtet man in vier verschiedenen Anteilen. Zunächst gewinnt man das Leichtöl, welches von etwa 60—170° C siedet und dessen spez. Gewicht unter 1,0, d. h. demjenigen des Wassers, liegt. Dann kommt die zweite gesondert aufgefangene Fraktion, welche von 170 bis etwa 230° siedet und deren durchschnittliches spez. Gewicht 1 beträgt. Sie wird als „Mittelöl" bezeichnet. Nun folgt von 230—300° das Schweröl mit einem spez. Gewicht über 1, und als letzte Fraktion werden die noch schwereren, über 300° siedenden Anthrazenöle erhalten. In der Retorte verbleibt das Pech, dessen Menge mehr als die Hälfte des in Arbeit genommenen Teers beträgt.

Die weitere Verarbeitung des Leichtöls geschieht abermals durch Destillation. Die dabei entstehenden wasserhellen dünnflüssigen Substanzen sind die sog. Rohbenzole, in denen die Kohlenwasserstoffe der Benzolreihe, Benzol, Toluol, Xylol, Mesitylen und Pseudocumol in wechselndem Verhältnis enthalten sind. Aus dem Rohbenzol werden durch eine abermalige, wesentlich verfeinerte fraktionierte Destillation in sog. Kolonnenapparaten die genannten Kohlenwasserstoffe im Zustande vollkommenster Reinheit gewonnen. Sie bilden das Ausgangsmaterial für die Herstellung der sog. Anilinfarben, finden aber auch zu anderen Zwecken, namentlich auch als wertvolle Lösungsmittel, die ausgedehnteste Verwendung.

Die Mittelöle enthalten reichliche Mengen von Kohlenwasserstoffen, von welchen sich einer, das feste Naphthalin, bei ruhigem Stehen in kristallinischer Form abscheidet. Man braucht diese Kristalle nur abzupressen und einigen Reinigungsprozessen zu unterwerfen, um das Naphthalin in vollkommen reinem Zustande zu erhalten. In den von den Naphthalinkristallen ablaufenden öligen Anteilen des Mittelöls finden sich die Phenole des Teers, die alkoholartigen Sauerstoffabkömmlinge der vorhin genannten Kohlenwasserstoffe. Diese Phenole, welche weiteren Kreisen auch vielleicht unter dem Namen der „Karbolsäure" bekannt sind, lassen sich in konzentriertem Zustande dadurch gawinnen, daß man die Öle mit Natronlauge schüttelt, in welcher nur die Phenole löslich sind. Durch Zusatz von Säure zu der gebildeten Lauge scheiden sie sich in öligem Zustande wieder aus, und nun nimmt man abermals seine Zuflucht zur fraktionierten Destillation, um aus dem erhaltenen Gemisch die einzelnen Phenole in einheitlichem und reinem Zustande zu gewinnen. Auch sie sind wie die Kohlenwasserstoffe farblose Substanzen, sie finden ebenfalls in der Farbenindustrie in ausgedehntestem Maßstabe, aber auch als Desinfektionsmittel und Antiseptika Anwendung, namentlich in der medizinischen Praxis.

Auch aus dem Schweröl scheidet sich bei ruhigem Stehen Naphthalin in kristallisiertem Zustande aus, sogar in noch größeren Mengen als aus dem Mittelöl. Auch dieses Naphthalin wird durch Abpressen gewonnen und weiter gereinigt. Von allen Bestandteilen des Teers ist das Naphthalin in reichlichster Menge vorhanden; die Industrie hat daher zunächst an einem gewissen Überschuß dieses prächtigen Körpers

gelitten, aber sie hat längst gelernt, die enormen Quantitäten Naphthalin, welche die heutige Teerdestillation liefert, sich zunutze zu machen, und man kann wohl sagen, daß heute das Naphthalin unter den Rohmaterialien der Farbstoffe das wichtigste und jedenfalls das in größter Menge benötigte ist. Die nach dem Abpressen des Naphthalins verbleibenden Anteile des Schweröles und diejenigen Öle, welche von dem Mittelöl übrigbleiben nach Gewinnung der Karbolsäure, enthalten die großen Mengen der Teerbestandteile, welche im isolierten Zustande eine technische Verwendung bisher nicht oder doch nur in geringem Maße gefunden haben. Diese Öle sind eine Fundgrube der wissenschaftlichen Forschung, technisch aber werden sie als ungetrenntes Gemisch gemeinsam verwertet; sie führen den Namen der Kreosotöle und dienen zur Imprägnierung der hölzernen Eisenbahnschwellen, welche dadurch vor dem Angriff pflanzlicher und tierischer Schädlinge, vor Zerfressen und Zernagen, Fäulnis und Verrottung geschützt werden und deren Lebensdauer dadurch von wenigen Jahren, wie in früheren Zeiten, auf Jahrzehnte gesteigert wird. Die Kreosotöle bewahren somit einen Besitz der Völker, dessen Wert nach Hunderten von Millionen sich berechnet, vor rascher Vernichtung und Zerstörung. Unter solchen Umständen braucht man sich nicht zu wundern, daß die Teerindustrie an einer weiteren Zerlegung der Kreosotöle nur ein untergeordnetes Interesse besitzt, da sie sie im unzerlegten Zustande in ausgedehntestem Maße zu verwerten vermag.

Auch aus dem Anthrazenöl scheiden sich beim Erkalten feste Körper kristallinisch aus, aber schon mit bloßem Auge sieht man, daß dieselben sehr verschieden sind von den Naphthalinausscheidungen der früheren Fraktionen. Sie bestehen aus dem Rohanthrazen, welches ebenfalls durch Filtrieren und Pressen von den flüssigen Anteilen getrennt wird. Die letzteren werden dazu benutzt, um das in den Retorten zurückgebliebene Pech etwas weicher zu machen, als es für sich allein sein würde. Weichpech hat zahlreichere Verwendungen als Hartpech und steht daher höher im Preise als dieses. Das Rohanthrazen wird zunächst in heizbaren hydraulischen Pressen heiß gepreßt, dabei schmelzen gewisse Bestandteile der kristallinischen Masse und fließen ab, während das sehr schwer schmelzbare Anthrazen in den Preßtüchern zurückbleibt und durch Auskochen mit Lösungsmitteln schließlich vollständig gereinigt werden kann. Die beim Heißpressen abfließenden Massen werden ebenso wie ein Teil der flüssigen Bestandteile des Anthrazenöls in ausgedehntem Maße zur Rußfabrikation verwendet, indem man sie bei mäßigem Luftzutritt verbrennt und den ausgeschiedenen feinverteilten Kohlenstoff in Rußkammern auffängt. Der Ruß hat bekanntlich eine ungemein ausgedehnte Verwendung in der Herstellung von Buchdruckerschwärze und Druckfarben aller Art. Der Gesamtgehalt des Steinkohlenteers an Anthrazen beträgt kaum 1/4 %, und nur wenn man die enorme Größe der Teerproduktion berücksichtigt, begreift man, daß auch das Anthrazen ein Gegenstand des Großhandels ist und das Rohmaterial der ausgedehnten und wichtigen Fabrikation der Alizarin- und Anthrazenfarben bildet.

DIE WEITERVERARBEITUNG DER AUS DEM TEER ISOLIERTEN AROMATISCHEN VERBINDUNGEN

FABRIKATION DER ZWISCHENPRODUKTE DER FARBENINDUSTRIE. Die aus dem Teer im reinen Zustande isolierten Kohlenwasserstoffe sind nicht nur selbst farblos, sondern das gleiche gilt auch von ihren unmittelbaren Abkömmlingen. Erst diese besitzen die Eigenschaft, sich schließlich in Farbstoffe verwandeln zu lassen.

Diese Abkömmlinge sind nicht sehr zahlreich, und wenn auch ihre Fabrikation in ihren Einzelheiten viel Bemerkenswertes bietet und ein großes Kapitel der technischen Chemie darstellt, so lassen sich doch die Grundzüge dieser Fabrikation der sog. Zwischenprodukte in verhältnismäßig wenige Worte fassen.

Die farbstoffbildenden Abkömmlinge der Kohlenwasserstoffe sind zum großen Teil entweder Aminbasen oder Phenole. Die ersteren entstehen aus den Kohlenwasserstoffen dadurch, daß ein oder mehrere Wasserstoffatome derselben durch die Aminogruppe NH_2, den Rest des Ammoniaks, ersetzt werden können, wobei es dann weiter noch möglich ist, den Wasserstoff dieser Aminogruppen durch organische Radikale zu vertreten, so daß primäre, sekundäre und tertiäre Amine unterschieden werden können. Auch ist es möglich, daß der Prozeß des Eintritts der Aminogruppe in das Molekül des Kohlenwasserstoffs sich mehrmals wiederholt, wobei dann Diamine und Triamine zustande kommen. Die Aminbasen haben, wie schon ihr Name besagt, die Fähigkeit, sich mit Säuren zu Salzen zu verbinden. Die Phenole sind eine der aromatischen Reihe eigentümliche Körperklasse, welche einigermaßen an die in der aliphatischen Reihe auftretenden Alkohole erinnern, insofern die Phenole wie die Alkohole in der Weise zustande kommen, daß in einem aromatischen Kohlenwasserstoff ein oder mehrere Atome Wasserstoff durch die Hydroxylgruppe OH, den Rest des Wassers, vertreten werden. Die neuere Chemie hat aus den Phenolen deshalb eine besondere Körperklasse gemacht, weil dieselben vielfach ein Verhalten zeigen, welches von demjenigen der Alkohole abweicht. Insbesondere besitzen sie einen ausgesprochen sauren Charakter und sind daher befähigt, Metallsalze zu bilden; sie lösen sich daher, soweit sie nicht schon an sich in Wasser löslich sind, mit Leichtigkeit in alkalischen Laugen auf. Außer den Aminbasen und Phenolen werden noch einige andere Rohmaterialien der Farbenindustrie aus den Kohlenwasserstoffen hergestellt, welche weiter unten einzeln erwähnt werden sollen.

Die von den Benzolkohlenwasserstoffen sich ableitenden Aminbasen sind in gewisser Menge schon im Teer enthalten. Aber diese Menge ist zu gering, und die Isolierung der einzelnen Basen aus dem aus dem Teer zunächst erhaltenen Gemisch ist zu mühsam, als daß es zweckmäßig wäre, diese Quelle auszunutzen. Man stellt vielmehr die Aminbasen direkt aus den Kohlenwasserstoffen auf sog. synthetischem Wege dar. Hierfür kommt vor allem eine allgemein anwendbare Methode in Betracht. Wenn man nämlich irgendeinen aromatischen Kohlenwasserstoff mit starker Salpetersäure behandelt, so werden die Wasserstoffatome desselben schrittweise durch die Nitrogruppe NO_2, den Rest der Salpetersäure, ersetzt. Es entstehen die Nitrokohlenwasserstoffe, welche eine Körperklasse für sich bilden. Unterwirft man diese dem Einfluß reduzierender, d. h. wasserstoffzuführender Agentien, so wird der Sauerstoff der Nitrogruppe zur Wasserbildung verbraucht, und die an dem Stickstoff durch die Fortnahme des Sauerstoffs freiwerdenden Valenzen werden mit Wasserstoffatomen abgesättigt — es entsteht die Aminbase, deren schrittweise Herausbildung aus dem Kohlenwasserstoff durch nachfolgende Formeln versinnbildlicht werden mag, welche den Übergang des Benzols in Anilin darstellen:

$$\underset{\text{Benzol}}{C_6H_6} \longrightarrow \underset{\text{Nitrobenzol}}{C_6H_5 \cdot NO_2} \longrightarrow \underset{\text{Aminobenzol (Anilin)}}{C_6H_5 \cdot NH_2}$$

Das erste Stadium des Prozesses, die sog. Nitrierung der Kohlenwasserstoffe, wird in technischen Betrieben nicht mit reiner Salpetersäure, sondern mit einem Gemisch

von Salpetersäure und Schwefelsäure vorgenommen, wobei der letzteren die Aufgabe zufällt, das Wasser zu binden, welches in der Reaktion abgespalten wird. Ein solches Gemisch bezeichnet man als „Nitriersäure"; man läßt dieselbe in der erforderlichen Menge zu dem Kohlenwasserstoff fließen, welcher in gußeisernen mit kräftigem Rührwerk versehenen Gefäßen sich befindet. Die Reaktion tritt ein, ohne daß eine Erhitzung erforderlich wäre, es muß im Gegenteil in den meisten Fällen durch künstliche Kühlung dafür gesorgt werden, daß sie nicht zu heftig wird. Eiserne Gefäße müssen Anwendung finden, weil Gußeisen weder von starker Schwefelsäure noch von starker Salpetersäure noch auch von einem Gemisch beider angegriffen wird. Wenn der Prozeß beendet ist, so läßt man das Flüssigkeitsgemisch ruhig stehen, die durch die Wasseraufnahme etwas schwächer gewordene Schwefelsäure sinkt nach unten, kann gesondert abgezogen und zu erneutem Gebrauch konzentriert werden, der entstandene Nitrokörper schwimmt als etwas dickliches Öl obenauf und wird durch Waschen mit Wasser, Behandeln mit Dampf usw. gereinigt und für die Reduktion vorbereitet. Dieser Prozeß vollzieht sich in ganz gleicher Weise bei allen Benzolkohlenwasserstoffen und auch beim Naphthalin, nur daß beim letzteren, welches an sich schon ein fester Körper ist, auch die entstandene Nitroverbindung beim Abkühlen zu Kristallen erstarrt.

Man kann den Prozeß mit den Nitrokörpern selbst wiederholen und erhält dann Di-, Tri-, ja sogar Tetranitrokörper, welche aber in allen Fällen kristallisierte feste Körper sind und daher ebenso wie das Nitronaphthalin nach dem Waschen beim Erkalten erstarren.

Alle diese Nitrokörper kann man nun zu den entsprechenden Aminbasen reduzieren. Von den vielen Methoden, welche die wissenschaftliche Chemie für diesen Zweck kennt, findet im Großbetriebe nur eine praktische Verwendung. Sie besteht darin, daß man die Nitroverbindungen mit Eisenbohrspänen und wenig verdünnter Salzsäure zusammenbringt und durch Einleiten von Dampf das Gemisch erhitzt. In einem ziemlich komplizierten Vorgang, der im wesentlichen in der Bildung und Wiederzersetzung verschiedener Chloride des Eisens gipfelt, wird der Wasserstoff des vorhandenen Wassers auf den Nitrokörper übertragen, während der Sauerstoff desselben an das Eisen geht und dieses schließlich in einen schwarzen Schlamm von Eisenoxydoxydul verwandelt. Die in diesem Schlamm enthaltenen Aminbasen können dann entweder durch direktes Erhitzen oder durch Einleiten von Wasserdampf abdestilliert werden. Die einfachsten Aminbasen, Anilin, Toluidin, Xylidin, bilden farblose, an der Luft sich gelb färbende, bei niedrigen Temperaturen erstarrende Öle. Das vom Naphthalin sich ableitende Naphtylamin ist ein fester kristallierter Körper, und dasselbe gilt von den Polyaminen oder Diaminen, welche aus den Dinitroverbindungen nach dem gleichen Verfahren dargestellt werden können.

Durch Behandlung der Aminbasen mit den Halogenverbindungen der aliphatischen Reihe, also etwa mit Chloräthyl, Bromäthyl oder mit Mischungen, aus denen solche Halogenverbindungen während der Reaktion entstehen, können dann die genannten primären Aminbasen in die obenerwähnten sekundären und tertiären verwandelt werden, von denen einige für die Farbenindustrie sehr wichtig sind. Es gilt dies namentlich von dem aus dem Anilin entstehenden Dimethylanilin, welches ebenso wie das Anilin ein farbloses, bei hoher Temperatur siedendes Öl ist.

Man hört häufig von Leuten, welche sich mit Chemie wenig beschäftigt haben, von den Färbungen des Anilins oder von verschieden gefärbten Anilinen sprechen. Dies ist unrichtig und beruht auf einer Verwechslung der Aminbasen mit den aus

ihnen entstehenden Anilinfarbstoffen. Das Anilin selbst und seine unmittelbaren Abkömmlinge sind unter allen Umständen ungefärbt und können direkt nicht zur Färberei benutzt werden. Dagegen ist das Anilin deshalb in weiten Kreisen bekannt geworden, weil es der allererste Teerabkömmling war, der durch seine Fähigkeit, Farbstoffe zu erzeugen, die Aufmerksamkeit der Chemiker auf sich lenkte, und in dessen Verwertung daher der erste Schritt zur Begründung der heute so mächtig gewordenen Farbenindustrie geschah.

Auch die Phenole finden sich im Steinkohlenteer, die einfachsten von ihnen, die von den Benzolkohlenwasserstoffen sich ableitenden, sogar in so großer Menge, daß es zweckmäßig ist, sie aus dem Steinkohlenteer zu gewinnen. Wie dies geschieht, ist schon bei der Schilderung der Teerdestillation beschrieben worden. Von allen Phenolen aber die in größter Menge benutzten sind die Naphthole, die entsprechenden Abkömmlinge des Naphthalins, welches aus bestimmten Gründen nicht nur ein, sondern zwei Phenole zu liefern vermag. Diese sowie einige kompliziertere phenolische Abkömmlinge der Benzolkohlenwasserstoffe stellt man ebenso wie die Aminbasen aus den Kohlenwasserstoffen nach einer allgemeinen Methode dar, welche auch in zwei Stadien zerfällt. Zunächst wird der Kohlenwasserstoff mit starker Schwefelsäure behandelt, unter Wasserabspaltung vertritt dabei ein Rest der Schwefelsäure ein oder mehrere Wasserstoffatome des Kohlenwasserstoffs, und es entsteht eine Sulfosäure. Läßt man auf diese schmelzendes Alkali einwirken, so wird der Schwefelsäurerest in Form von Alkalisulfit herausgenommen und durch die Hydroxylgruppe ersetzt. Auch diese Vorgänge lassen sich wie die oben geschilderten durch drei Formeln darstellen, welche diesmal für das Naphthalin die auseinander sich entwickelnden Verbindungen versinnbildlichen:

$$\underset{\text{Naphthalin}}{C_{10}H_8} \longrightarrow \underset{\text{Naphthalinsulfosäure}}{C_{10}H_7 \cdot SO_3H} \longrightarrow \underset{\text{Oxynaphthalin (Naphthol)}}{C_{10}H_7 \cdot OH}$$

Außer den Aminbasen und Phenolen werden, wie schon erwähnt, noch einige andere Zwischenprodukte aus den Kohlenwasserstoffen hergestellt. Das Anthrazen, welches überhaupt ein sehr eigentümlicher Kohlenwasserstoff ist, läßt die von ihm sich ableitenden Farbstoffe aus einem Körper entstehen, welcher Anthrachinon genannt wird und dadurch vom Anthrazen sich unterscheidet, daß zwei Wasserstoffatome dieses letzteren durch Sauerstoffatome vertreten sind, wie es die folgenden Formeln zeigen:

$$\underset{\text{Anthrazen}}{C_{14}H_{10}} \longrightarrow \underset{\text{Anthrachinon}}{C_{14}H_8O_2}$$

Das Anthrachinon wird in der Weise dargestellt, daß man Anthrazen mit einem Gemisch von Natriumbichromat und Schwefelsäure behandelt.

Ferner kann man aus den Kohlenwasserstoffen durch Behandlung mit Chlor Chlorderivate herstellen, welche mannigfacher Anwendung fähig sind. Namentlich in neuerer Zeit, wo die anorganische Großindustrie ein Übermaß an Chlor produziert, sind diese Vorgänge sehr wichtig geworden. Chlorbenzol, Nitrochlorbenzol, Dinitrochlorbenzol sind heute wichtige Rohmaterialien der Farbenindustrie. Durch Chlorierung von Toluol werden Produkte wie Benzylchlorid, Benzalchlorid und Benzotrichlorid erhalten, welche beim Behandeln mit Kalkmilch ihren Chlorgehalt gegen Sauerstoff austauschen; es entstehen auf diese Weise Benzylalkohol, Benzaldehyd und Benzoesäure. Der Benzaldehyd ist der gleiche Körper, welcher den Wohlgeruch des natürlichen Bitter-

mandelöls erzeugt, er findet daher nicht nur in der Farbenindustrie, sondern auch als Riechstoff ausgedehnte Verwendung. Verschieden von ihm ist das falsche Bittermandelöl oder Mirbanöl, dieses ist nichts anderes als Nitrobenzol, welches auch einen an Mandeln erinnernden, aber schärferen Geruch besitzt und zudem ziemlich giftig ist. Es findet zum Parfümieren von Seifen ausgedehnte Anwendung, während das ungiftige echte Bittermandelöl in der feineren Parfümerie und sogar auch für Eßwaren angewendet wird.

Ein Zwischenprodukt von der allergrößten Wichtigkeit ist endlich noch die Phthalsäure, welche sich vom Benzol in der Weise ableitet, daß zwei Wasserstoffatome durch die Carboxylgruppe COOH vertreten sind, während bei der Benzoesäure nur ein Wasserstoffatom den Benzols in gleicher Weise ersetzt ist. Dies zeigen die folgenden Formeln:

$$\underset{\text{Benzol}}{C_6H_6} \longrightarrow \underset{\text{Benzoesäure}}{C_6H_5 \cdot COOH} \longrightarrow \underset{\text{Phthalsäure}}{C_6H_4 \begin{matrix} COOH \\ COOH \end{matrix}}$$

Die Phthalsäure wird aber merkwürdigerweise nicht aus Benzol, sondern aus Naphthalin dargestellt. Behandelt man dieses bei Gegenwart von Quecksilbersalzen mit sehr starker Schwefelsäure, so wirkt die letztere als Oxydationsmittel, es wird buchstäblich ein Teil des Naphthalins verbrannt, und das, was übrigbleibt, ist die gesuchte Phthalsäure. Die industrielle Bedeutung der Phthalsäure ist deshalb so außerordentlich groß, weil sie das wichtigste Rohmaterial der Fabrikation des künstlichen Indigos ist.

Die vorstehenden freilich sehr rudimentären Angaben dürften genügen, um ein Bild darüber entstehen zu lassen, in welchen Bahnen die Fabrikation der Zwischenprodukte der Farbenindustrie sich bewegt. Während die Teerdestillation und die Reingewinnung der unmittelbaren Teerbestandteile vielfach als besondere Industrie von den Teerdestillationsanstalten ausgeübt wird, ist die Fabrikation der Zwischenprodukte der Farbenindustrie fast ganz in den Händen der Farbenfabriken verblieben, welche freilich auch mit diesen Produkten Handel treiben und sich gegenseitig diejenigen Substanzen liefern, welche in ihrem Betriebe in besonders günstiger Weise erzeugt werden. Es sind also diese Produkte ganz allgemein zugänglich, und wenn auch ihre Zahl eine nicht geringe ist, so ist es doch wunderbar, in wie mannigfaltiger Weise sie umgewandelt und miteinander kombiniert werden können, so daß aus ihnen Tausende und aber Tausende von schönen, in ihren sämtlichen Eigenschaften höchst charakteristischen Farbstoffen entstehen, welche nicht etwa mannigfaltige Mischungen einiger weniger Ingredienzien darstellen, sondern fast ausnahmslos einheitliche chemische Produkte von ganz bemerkenswerter Reinheit sind.

DIE FARBENFABRIKATION

In der Zeit ihrer Begründung, d. h. gegen Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, stand die Industrie der künstlichen Farbstoffe naturgemäß zunächst auf rein empirischer Grundlage. Man hatte die Beobachtung gemacht, daß verschiedene Teerderivate, insbesondere die aromatischen Aminbasen, intensiv färbende Abkömmlinge lieferten, wenn man sie mit verschiedenen, namentlich oxydierend wirkenden Reagentien behandelte. Die erhaltenen Farbstoffe wurden bald in reinem Zustande gewonnen und von verschiedenen Forschern, unter denen A. W. Hofmann an erster Stelle steht, wissenschaftlich untersucht. Die dabei gewonnene Erkenntnis erlaubte immer weitergehende Schlußfolgerungen zu ziehen, so daß es im Jahre 1875 dem Verfasser dieses Aufsatzes möglich war, eine Theorie über den Zusammenhang zwi-

schen der Konstitution und dem Farbstoffcharakter aromatischer Verbindungen aufzustellen, welche bis auf den heutigen Tag gültig geblieben ist. Da ferner gerade die siebziger Jahre des 19. Jahrhunderts eine weitgehende Erkenntnis des feineren Baues der aromatischen Verbindungen und namentlich der sog. Stellungsisomerie bei denselben zeitigte, so kam die Farbenindustrie bald in die Lage, nach feststehenden Grundsätzen planmäßig den Aufbau von Farbstoffen mit ganz bestimmten, von vornherein gesuchten Eigenschaften vorzunehmen. Die verhältnismäßig kleine Gruppe der im Anfang auf empirischem Wege erhaltenen Anilinfarben wurde ganz außerordentlich vermehrt, nachdem man gelernt hatte, diese Substanzen, welche, wie wir heute wissen, sich von einem ziemlich komplizierten Kohlenwasserstoff, dem Triphenylmethan, ableiten, synthetisch aufzubauen. Ganz neue Wege betrat die Farbenindustrie, nachdem es im Jahre 1868 Graebe und Liebermann gelungen war, festzustellen, daß der durch seine Schönheit und Echtheit seit den ältesten Zeiten berühmte Krappfarbstoff, das Alizarin, ein Abkömmling des im Teer vorkommenden Anthrazens ist, aus welchem sie das Alizarin alsbald auch synthetisch aufbauten. Mit der Aufnahme der Fabrikation dieses Farbstoffes aus Anthrazen betrat die Farbenindustrie zum erstenmal die Bahn des Wettbewerbs mit der schaffenden Natur, und weniger als ein Jahrzehnt genügte, um ihr den Sieg auf diesem Gebiete zu sichern. Der Anbau des Krapps erwies sich als kostspieliger als die Synthese des Alizarins, welches nun schon seit langer Zeit ausschließlich auf künstlichem Wege hergestellt wird. Unter solchen Umständen war es kein Wunder, daß sehr bald auch der Gedanke auftauchte, den ebenfalls seit den ältesten Zeiten benutzten Pflanzenindigo, welchen man wegen seiner vortrefflichen Eigenschaften oft als den König der Farbstoffe bezeichnet hat, auf synthetischem Wege herzustellen, und die Lösung dieses Problems rückte in den Bereich der Möglichkeit, nachdem gegen Ende der siebziger Jahre die langjährigen Forschungen Adolf Baeyers zum Abschluß gekommen waren, durch welche die Konstitution des Indigos enträtselt wurde. Allerdings bedurfte es noch weiterer zwanzig Jahre emsiger Arbeit, ehe die Industrie auch die Aufgabe zu lösen vermochte, den Indigo in so günstiger Weise künstlich darzustellen, daß ein Wettbewerb mit dem in den Tropenländern gewonnenen Pflanzenprodukt möglich erschien. In dem jüngst verflossenen Jahrzehnt ist aber auch auf diesem schwierigen Gebiete der Industrie der künstlichen Farbstoffe ein voller Sieg zuteil geworden.

Aber noch lange ehe dies geschah, schon in der Mitte der siebziger Jahre, gelang es der Technik, durch Auswertung der merkwürdigen Eigenschaften der von Peter Gries entdeckten Diazoverbindungen (welche sich von den primären aromatischen Aminbasen ableiten und aus diesen durch die Einwirkung von salpetriger Säure entstehen) eine Gruppe von Farbstoffen der Färberei zuzuführen, welche an Zahl der zu ihr gehörigen einzelnen Verbindungen alle anderen Farbstoffe zusammengenommen um das Vielfache übertrifft. Die so gewonnenen „Azofarbstoffe", deren erste Repräsentanten von dem Verfasser dieser Schilderung erfunden wurden, bieten großen Vorteil dadurch, daß sie sich nach bestimmten Regeln planmäßig und mit absolut theoretischen Ausbeuten aufbauen lassen, wodurch ihr Herstellungspreis natürlich ungemein billig wird. Sie haben ferner sehr gutartige Eigenschaften, welche sich ganz nach Belieben variieren und dem beabsichtigten Gebrauch anpassen lassen. So kommt es, daß Tausende derselben zum Gegenstande des Großbetriebes geworden sind, und daß heute dem Färber eine Palette von künstlichen Farbstoffen zur Verfügung steht, von deren Umfang frühere Zeiten sich nichts haben träumen lassen. Für den Laien scheint es wunderbar, daß die Färberei überhaupt Vorteile darin findet, mit so vielen

verschiedenen Farbstoffen zu arbeiten, da es naheliegt, anzunehmen, daß man durch Mischung einiger wenigen alle gewünschten Nuancen erreichen könnte. Diese Annahme ist aber unrichtig, da Farbstoffe sich nicht wie Spektralfarben mischen lassen, ohne daß eine gewisse Vernichtung von Licht, mit anderen Worten ein Grauwerden erfolgt. Reine Farbentöne lassen sich am besten mit einheitlichen Farbstoffen herstellen. Außerdem ist die Nuance eines Farbstoffes nicht die einzige Eigenschaft, welche der Färber berücksichtigen muß, es kommen außerdem noch Echtheit gegen verschiedene Einflüsse und das relative Verhalten jedes einzelnen Farbstoffes zu dem zu färbenden Material in Betracht. Da nun auch dieses letztere in der modernen Industrie außerordentlich mannigfaltig geworden ist, finden Farbstoffe von den verschiedensten Eigenschaften angemessene Verwendung für verschiedene Zwecke.

Abbildung 18. Blick in eine große chemische Fabrik (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation zu Berlin, Werk Greppin).

Unter den älteren auf empirischem Wege entdeckten Farbstoffen spielt das sog. „Fuchsin" (der Name soll an die Blütenfarbe der Fuchsia und außerdem an den Namen des ersten Fabrikanten, Renard, erinnern) eine besonders wichtige Rolle, denn dieses Produkt ist das Prototyp und die Muttersubstanz vieler anderen basischen Anilinfarbstoffe. Dasselbe wurde ursprünglich aus sog. „Rotöl", einem Gemisch aus Anilin mit seinen höheren Homologen, durch Oxydation mit Arsensäure gewonnen. Da aber das Arbeiten mit den giftigen Arsenverbindungen auf die Dauer als gefährlich sich erwies, so ersetzte man die Arsensäure durch Nitrobenzol, welches unter gewissen Bedingungen ebenfalls infolge seines Sauerstoffgehaltes als Oxydationsmittel zu dienen vermag. Noch heute wird Fuchsin auf diese Weise hergestellt, obgleich wir jetzt auch schon über synthetische Methoden für diesen Zweck verfügen.

Das Fuchsin, dessen Salze aus wässerigen Lösungen in prachtvoll grünen, metallisch glänzenden Kristallen erhalten werden, färbt ein eigentümliches Blaurot. Seiner Konstitution nach ist es ein Triamin des Triphenylkarbinols. Die in ihm enthaltenen drei Aminogruppen geben die Möglichkeit, nicht weniger als sechs Wasserstoffatome durch die verschiedensten organischen Radikale zu ersetzen, und hierauf beruht die Tatsache, daß von dem Fuchsin eine große Anzahl der verschiedensten Farbstoffe sich ableiten. Denn jeder Ersatz eines Wasserstoffatoms in diesen Farbstoffen durch eine andere Atomgruppe ist mit einer sehr starken Änderung der Nuance des Farbstoffes verbunden. Durch sukzessive Einführung von Methyl- und Äthylresten an Stelle von Aminwasserstoff entsteht aus dem Fuchsin das große Heer der violetten Farbstoffe, von denen das Hexamethylrosanilin oder Kristallviolett der schönste und interessanteste ist. Durch Einführung von Phenylgruppen an Stelle von Aminwasserstoff liefert das Fuchsin ebenfalls einige violette, hauptsächlich aber eine große An-

zahl von blauen Farbstoffen; es sind dies die sog. Anilinblau, von denen diejenigen, welche die reinsten blauen Nuancen zeigen (Triphenylpararosanilin) im Handel als Licht- oder Nachtblau bezeichnet werden, weil sie auch bei künstlichem Licht ihre reine Nuance behalten. Auch grüne Farbstoffe vermag das Fuchsin zu liefern, dieselben sind aber infolge ihrer ungenügenden Echtheit heute außer Gebrauch gekommen, nachdem man in den Abkömmlingen des Diaminotriphenylmethans (welche also eine Aminogruppe weniger enthalten als das Fuchsin) eine große Zahl von grünen Farbstoffen von besseren Eigenschaften gefunden hat.

Als Abkömmlinge des Triphenylmethans haben sich schließlich auch Farbstoffe entpuppt, deren Darstellungsweise mit dem Fuchsin keinerlei Ähnlichkeit aufweist und welche bei ihrem ersten Erscheinen durch ihre wunderbaren Eigenschaften und den Glanz ihrer Nuance das größte Aufsehen erregten. Es ist dies die Gruppe der Phthaleinfarbstoffe, von welchen das Fluoreszein das erste war. Dieser Körper besitzt eine zitronengelbe Farbe, außerdem aber in seinen Lösungen eine grüne Fluoreszenz von außerordentlicher Stärke. Diese überträgt sich auch auf die Färbungen des Fluoreszeins auf Seide, welche infolgedessen neben ihrer gelben Nuance im auffallenden Lichte eine grüne Schillerfarbe zeigen. Das Fluoreszein entsteht mit großer Leichtigkeit, wenn man Phthalsäure mit Resorzin, einem Phenol, welches die Konstitution eines Metadioxybenzols besitzt, erhitzt. Diese beiden Ingredienzien, welche früher technisch nicht benutzt wurden, haben seit der Entdeckung des Fluoreszeins dauernden Eingang in die Industrie gefunden und sich als wichtige und vielseitig verwendbare Zwischenprodukte erwiesen. Bedeutend wertvoller für die Zwecke der Färberei als das Fluoreszein selbst sind die Abkömmlinge desselben, welche entstehen, wenn man Halogene in seine Moleküle einführt. So ist z. B. das prachtvolle, in großer Menge (unter anderem auch zur Herstellung roter Tinte) benutzte „Eosin" Tetrabromfluoreszein. Das für die Photographie so wichtige „Erythrosin" ist Tetrajodfluoreszein, während durch gleichzeitige Einführung von Chlor und Jod das leuchtend karminrote „Rose bengale" und seine Verwandten erhalten werden. Noch wichtiger ist eine später entdeckte Klasse von verwandten Farbstoffen, welche durch Kondensation von Phthalsäure mit Metaaminophenol und Abkömmlingen desselben entstehen und den Namen der „Rhodamine" führen. Dieselben haben basischen Charakter, sind auffallend lichtecht und zweifellos die glänzendsten aller roten Farbstoffe, über welche wir verfügen.

Die Fabrikation der vorhin erwähnten Azofarbstoffe erfolgt in der Weise, daß man wässerige Lösungen beliebiger primärer Amine mit der genau theoretischen Menge Natriumnitrit versetzt, wobei sich in quantitativer Weise die Umwandlung des Amins in die entsprechende Diazoverbindung vollzieht. Dies geschieht in der Kälte, ja, es erweist sich sogar meistens als vorteilhaft, die Flüssigkeit während der Reaktion durch Zusatz von Eis abzukühlen. Die Diazoverbindungen sind im festen Zustande explosive Körper, aber es ist nicht notwendig, sie aus ihrer wässerigen Lösung abzuscheiden, sondern man gießt diese zu der Auflösung eines beliebigen Amins oder Phenols, wobei sich wiederum in quantitativer Weise der entsprechende Azofarbstoff bildet und gewöhnlich sofort ausscheidet, so daß man ihn nur abzufiltrieren und zu trocknen braucht. Da es viele Hunderte von verschiedenen primären Aminbasen und auch wiederum viele Hunderte von Basen und Phenolen gibt, mit denen man die Diazoverbindungen zu Azofarbstoffen vereinigen („kuppeln") kann, so genügt eine einfache Permutationsrechnung, um festzustellen, daß die Anzahl der möglichen Azofarbstoffe in die Millionen geht. Jeder derselben hat abweichende Färbungen und Eigenschaf-

ten, so daß für die Industrie lediglich die Aufgabe erwächst, unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit und des Preises der Rohmaterialien und der Eigenschaften des erhaltenen Produktes die für den Großbetrieb geeignetsten Kombinationen auszuwählen. Der Umfang dieser Aufgabe bringt es mit sich, daß selbst noch heute, nachdem Hunderte von Chemikern seit 36 Jahren in dieser Richtung tätig sind, immer wieder neue Azofarbstoffe auf dem Markt erscheinen.

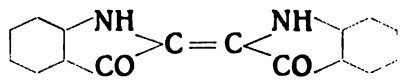
Die Fabrikation der Alizarinfarbstoffe ist eine Industrie für sich, welche in den großen Farbenfabriken, die sich mit derselben beschäftigen, von der Fabrikation der Anilin- und Azofarbstoffe getrennt gehalten wird. Dies ist schon dadurch bedingt, daß die verwendeten Methoden und Apparate wesentlich von denjenigen abweichen, welche bei der Herstellung der anderen Farbstoffe zur Geltung kommen.

Das Alizarin selbst, das Prototyp dieser ganzen Gruppe, ist Dioxyanthrachinon. Es bildet sich, wenn man Anthrachinonsulfosäure in derselben Weise, wie es für die Naphthole beschrieben wurde, mit Ätznatron verschmilzt. Durch geeignete Modifikationen dieser Darstellungsweise kann man nun auch noch andere Farbstoffe erhalten, unter denen zwei Trioxyanthrachinone, das Anthrapurpurin und Flavopurpurin, die wichtigsten sind. Dieselben finden sich nicht in der Krappwurzel, wohl aber ihr Isomeres, das Purpurin, welches auch künstlich aus dem Alizarin erhalten werden kann, indem man dasselbe mit Oxydationsmitteln behandelt. Durch geeignete andere Methoden lassen sich dann auch noch andere Oxyanthrachinone erhalten, welche in ihren Eigenschaften dem Alizarin und dem Purpurin entsprechen. Diese Eigenschaften sind völlig verschieden von denen der bisher besprochenen Farbstoffe. Denn während diese, ob sie nun den Charakter von Basen oder von Säuren tragen, aus ihren Auflösungen, den sog. Farbbädern, direkt auf die eingetauchte Faser übertragen werden, sind bei den Alizarinfarbstoffen nicht diese selbst das eigentlich Färbende. Alizarin und seine verschiedenen Verwandten erteilen den Fasern nur ganz unscheinbare blaßgelbliche oder bräunliche Färbungen, welche in dieser Form nicht den geringsten Wert besitzen. Die glänzenden Nuancen dieser Farbstoffe treten erst in ihren Salzen zutage, und es ist in Form unlöslicher Salze, sog. Lacke, daß diese Farbstoffe auf der Faser befestigt werden. Es kann daher auch ein und derselbe Farbstoff mehrere Färbungen erzeugen, eine Tatsache, von der die Textilindustrie gelegentlich nützliche Anwendungen macht. Das Alizarin liefert z. B., wenn es in seiner Tonerdeverbindung, als Tonerdelack, auf der Faser fixiert wird, sehr echte scharlachrote Nuancen, das bekannte sog. Türkischrot. Der Eisenlack des Alizarins ist dagegen violett, der Chromlack schokoladenbraun. Wird Tonerde- und Eisenlack gleichzeitig zur Fixierung benutzt, so erhält man schwarze Färbungen. Für die meisten Alizarinfarbstoffe ist indessen nur eine der Färbungen, die sie zu liefern vermögen, besonders wichtig, und in dieser Form werden sie dann am meisten angewandt. Die Chromlacke sind für die meisten dieser Farbstoffe die wichtigsten, nur das Alizarin und seine nächsten Verwandten werden hauptsächlich als Tonerdelacke angewandt.

Durch gewisse Reaktionen, auf welche hier nicht näher eingegangen werden soll, lassen sich indessen auch viele Anthrachinonabkömmlinge in wasserlösliche tiefgefärbte Verbindungen überführen, welche ebenso wie z. B. die Azofarbstoffe direkt aus ihrer Lösung auf die Wollfaser übergehen und dabei die guten Echtheitseigenschaften dieser ganzen Gruppe besitzen.

Die Synthese des Indigos ist die interessanteste und glänzendste Errungenschaft der Farbentechnik. Sie bietet ein weitgehendes Interesse, von welcher Richtung man

sie immer auch betrachten mag. Der Indigo ist ein Benzolderivat von verhältnismäßig recht kompliziertem Bau, welcher durch die Strukturformel



zum Ausdruck gebracht wird. Seit diese Tatsache durch die genialen Forschungen Adolf Baeyers erschlossen worden ist, ist im Laufe der Jahre eine Fülle von Methoden entdeckt worden, welche gestatten, zu diesem kompliziert zusammengesetzten Körper zu gelangen. Aber nur die wenigsten derselben haben eine technische Bedeutung. Unter diesen ist die wichtigste die von Heumann aufgefundene, welche darauf beruht, daß Phenylglyzin durch Schmelzen mit Alkali in einen farblosen Körper, das Indoxyl, übergeführt wird, welcher durch bloße Behandlung mit Luft in Indigo sich verwandelt. Phenylglyzin ist Phenylaminoessigsäure $C_6H_5 NH.CH_2.COOH$. Es entsteht durch Einwirkung von Monochloressigsäure auf Anilin. Leider ist nun aber die Umwandlung dieses Körpers in Indoxyl durch das Verschmelzen mit Alkali eine recht unvollkommene. Bedeutend besser gelingt sie (auf die Gründe, weshalb, kann hier nicht eingegangen werden), wenn man anstatt Ätznatron Natriumamid verwendet, einen Körper, der durch die Einwirkung von Natriummetall auf Ammoniak erhalten wird. Natürlich ist dieses Hilfsmittel wesentlich teurer als Ätznatron, aus dem das Natriummetall erst hergestellt werden muß. Trotzdem findet dieses Verfahren zur Herstellung von Indigo ausgedehnte Verwendung. Noch glatter bildet sich aber der Indigo, wenn man nicht Phenylglyzin, sondern die von ihm sich ableitende Karbonsäure verschmilzt, und hier kann nun Ätznatron selbst verwendet werden. Die entstehende Indoxylkarbonsäure oxydiert sich an der Luft und spaltet gleichzeitig Kohlendioxyd ab, so daß auch hier wiederum Indigo selbst als letztes Produkt erzielt wird. Nach diesem Verfahren wird wohl die Hauptmenge des heute in Millionen von Kilogrammen in den Handel kommenden Indigos hergestellt. Aber die Wichtigkeit der zuletzt beschriebenen Methode beruht nicht nur auf der erleichterten Indigobildung, sondern in erster Linie darauf, daß als Rohmaterial für die Herstellung der Phenylglyzinkarbonsäure nicht mehr Anilin benutzt zu werden braucht, sondern die aus Phthalsäure gewonnene Anthranilsäure. Da nun die Phthalsäure selbst aus Naphthalin erhalten wird, so spielt sich damit die Indigodarstellung auf ein ganz anderes Rohmaterial hinaus, nämlich auf das in dem Teer in so reichlicher Menge enthaltene Naphthalin. Wären wir für die Fabrikation des Indigos ausschließlich auf das aus Benzol entstehende Anilin angewiesen, so stände zu befürchten, daß an dem erforderlichen Rohmaterial für die Indigoindustrie Mangel eintreten könnte.

Genau so wie aus der glücklich gelungenen technischen Synthese des Alizarins die Fabrikation einer Fülle von verwandten Farbstoffen herausgewachsen ist, welche in der Natur nicht vorkommen und die vortrefflichen Eigenschaften des Alizarins mit veränderter Nuance und neuen guten Eigenschaften vereinigen, genau so hat sich an die künstliche Herstellung des Indigos die Produktion einer Reihe von neuen Farbstoffen angeschlossen, welche bei gleichartiger Anwendung und verwandtem allgemeinem Charakter neue Effekte zu erzielen gestatten. Es ist eine ganze Palette von „indigoiden Küpenfarbstoffen" emporgeblüht, welche neben und mit dem Indigo sich verwenden lassen, während früher der Indigo allen anderen Farbstoffen gegenüber eine isolierte Stellung einnahm, weil seine Verwendung in ganz anderer Weise geschieht.

Abb. 19. Blick in eins der Betriebslaboratorien der Badischen Anilin- u. Sodafabrik zu Ludwigshafen a. Rh.

Der Indigo und seine modernen Verwandten sind nämlich in Wasser und sonstigen leicht zugänglichen Lösungsmitteln total unlöslich. Der Indigo besitzt aber die Fähigkeit, von alkalischen Reduktionsmitteln in das wasserlösliche blaßgelbe Indigoweiß übergeführt zu werden. Die Lösung dieses Körpers erst dient zur Färbung, sie wird als „Küpe" bezeichnet. Ganz ebenso verhalten sich die neueren indigoiden Farbstoffe.

Eine Küpe wird „angesetzt", indem man feinst gemahlenen Indigo mit alkalischen reduzierenden Flüssigkeiten zusammenrührt und eine Zeitlang stehen läßt. Als Reduktionsmittel wurden in alten Zeiten die verschiedenartigsten komplizierten Mischungen benutzt. Heutzutage verwendet man entweder ein Gemisch von Zinkstaub und Natronlauge (Zinkküpe) oder eine mit Alkalien versetzte Auflösung von Natriumhydrosulfit, welches seit einigen Jahren in trockener haltbarer Form in den Handel kommt (Hydrosulfitküpe). In jedem Falle löst sich der Indigo zu einer blaßgelben Flüssigkeit, welche nur an der Oberfläche, da, wo sie mit der Luft in Berührung steht, kupferig glänzende blaue Schlieren, die sog. „Blume" der Küpe, zeigt. Taucht man nun in diese Flüssigkeit die zu färbenden Stoffe ein, so kommen sie im ersten Augenblick blaßgelb wieder zum Vorschein. Aber an der Luft wird der Indigo zurückgebildet, der Stoff "vergrünt" und nimmt dabei allmählich die tiefblaue Färbung des Indigos an. Bei diesem Vorgang des Vergrünens wird der unlösliche Indigo zurückgebildet, aber im Innern der Faser, welche ihn nun dauernd festhält. Die Indigofärberei ist somit kein Färbungsprozeß im strengen Sinne des Wortes, sondern eine in ganz eigentümlicher Weise verlaufende Abscheidung eines blauen Pigments und Einlagerung desselben in das Innere der Faser.

Heute wissen wir nun, daß es außer dem Indigo noch eine sehr große Zahl von anderen Küpenfarbstoffen gibt, welche alle in genau der gleichen Weise zur Anwendung kommen können. Es gehören hierin zunächst die direkten Abkömmlinge des Indigos, von welchen die gechlorten und gebromten ein gewisses technisches Interesse besitzen, indem sie sich durch eine etwas frischere Farbe vom Indigo unterscheiden. Ferner kann man dadurch, daß man in den Aufbau des Indigos (siehe die oben gegebene Strukturformel) an die Stelle von Stickstoff Schwefel einführt, zu roten Farbstoffen kommen, welche bei gleicher Echtheit wie Indigo eine blau- bis scharlachrote Nuance besitzen. Es sind dies die von P. Friedländer entdeckten Farbstoffe Thioindigorot und Thioindigoscharlach.

Ganz neue Bahnen aber hat R. Bohn betreten durch Auffindung des Indanthrens, welchem sehr bald eine große Reihe von ähnlichen verwandten Küpenfarbstoffen sich anschloß. Das Indanthren hat in seiner Konstitution nichts mehr mit dem Indigo zu tun, sondern es ist ein sehr kompliziert gebauter Abkömmling des Anthrachinons. Dieses selbst ist durch diese wichtige neue Errungenschaft zur Muttersubstanz einer ganz neuen, höchst ausgedehnten Klasse von Farbstoffen geworden, welche dadurch interessant und wichtig ist, daß in ihr meist glänzende Nuancen — leuchtendes Blau, Gelb, Grün, Violett — mit einer Echtheit vereinigt sind, welche sogar diejenige des Indigos nicht unerheblich übertrifft. Denn dieser letztere ist zwar sehr echt gegen Licht und Luft, aber recht empfindlich gegen oxydierende Einflüsse, was auch schon seit langer Zeit bekannt ist. Ja, es gibt eine einfache und auch vielen Laien geläufige Methode zur Prüfung einer blauen Färbung daraufhin, ob sie mit Indigo hergestellt ist, welche darin besteht, den betreffenden Stoff mit mäßig konzentrierter Salpetersäure zu betupfen, wobei, wenn Indigo vorliegt, durch die augenblickliche Zerstörung desselben ein gelber Fleck entsteht. Die Indanthrenfarbstoffe sind widerstandsfähig auch gegen Oxydationsmittel.

In der vorstehenden kurzen Skizze ist nur die Chemie der künstlichen Farbstoffe erläutert worden, soweit dieselbe sich in einer für weitere Kreise verständlichen Weise und ohne Bezugnahme auf die feineren Begriffe der theoretischen Chemie darstellen läßt. Von den in der Farbenindustrie benutzten Apparaten und maschinellen Anlagen ist im Gegensatz zu dem über die anorganische Großindustrie Gesagten so gut wie gar nicht die Rede gewesen. Es hat dies seinen Grund darin, daß die apparativen Hilfsmittel der Farbenfabrikation im Prinzip wenig Interessantes darbieten, indem sie sich auf verschiedenartig ausgestaltete Gefäße, Filtrations- und Destillationsanlagen beschränken. Damit soll nicht gesagt sein, daß nicht auch die modernen Farbenfabriken ihre apparativen Hilfsmittel in höchstem Masse verfeinert und bewunderungswürdig ausgestaltet haben. Aber was in dieser Hinsicht geschehen ist, bedeutet doch nur eine Erleichterung und Verfeinerung sowie namentlich eine Verbilligung des zu ungeheurem Umfange angeschwollenen Betriebes. Es hat daher auch nur für den Fachmann, den die feinere Ausgestaltung der einzelnen Operationen interessiert, seine Bedeutung.

Die Farbenindustrie hat ihre Wurzeln in der chemischen Arbeit des Laboratoriums und bildet in ihren Großbetrieben nur die auf große Mengen umgestaltete Übertragung derselben Vorgänge, welche in den einfachen Glasgeräten des wissenschaftlichen Arbeiters sich abspielen, wobei allerdings die besondere Eigenart der organischen Verbindungen den Konstruktionsingenieur einer Farbenfabrik nicht selten vor Aufgaben stellt, deren Lösung seine ganze Kraft in Anspruch nimmt.

DIE INDUSTRIE DER RIECHSTOFFE, SYNTHETISCHEN HEILMITTEL UND ORGANISCHEN PRÄPARATE

Die am Schlusse des vorigen Kapitels niedergeschriebenen Worte gelten ohne weiteres auch für die chemischen Errungenschaften, welchen in diesem Schlußkapitel noch einige Worte gewidmet werden sollen.

Seit den ältesten Zeiten ist es bekannt, daß die organische Welt, das Tier- und Pflanzenreich, eine Fülle von Substanzen hervorbringt, welche durch ihre besonderen und nützlichen Eigenschaften dazu anreizen, sie zu isolieren. Lange ehe es eine Chemie gab, hat man wohlriechende Blumen und Kräuter mit Wasserdämpfen behandelt, um auf solche Weise die flüchtigen Körper im reinen Zustande zu gewinnen, welche die Ursache des Duftes bilden. So kam man zu den ätherischen Ölen, welche wahrscheinlich schon das Altertum gekannt hat und deren Gewinnung und Benutzung in allen Ländern weit zurückreicht. Rosenöl, Pfefferminzöl, Zitronen- und Orangenöl, Kampfer sind Beispiele derartiger seit Jahrhunderten benutzten Erzeugnisse. Viele derselben besitzen einen so intensiven Geruch und sind in den Naturprodukten, die um ihretwillen gesammelt und geschätzt werden, in so äußerst geringer Menge vorhanden, daß man sich damit begnügen mußte, die riechenden Prinzipien bloß in geeigneter Weise anzureichern. So ist es z. B. üblich, manche besonders wohlriechende Blumen — Veilchen, Jasmin, Tuberosen, Maiglöckchen, Orangeblüten — mit ganz reinem Fett zusammen in einen Schrank zu packen, wobei der Geruch von den Blumen auf das Fett übergeht. Es entstehen so die sog. „Pomaden", aus denen man den Wohlgeruch durch Behandlung mit Alkohol in Form von „Essenzen" ausziehen kann.

Etwas Ähnliches gilt für heilkräftige Erzeugnisse der Natur; zahllose Wurzeln, Rinden, Samen oder Blätter enthalten starkwirkende Bestandteile, welche man zu isolieren gelernt hat. So wird aus den Chinarinden das Chinin mit seinen Begleitern, aus dem Opium das Morphium mit einigen anderen Alkaloiden, aus den Blättern des Tabaks das Nikotin, aus den Brechnüssen das furchtbar giftige Strychnin in ganz reiner kristallisierter Form isoliert, und dasselbe gilt von vielen Hunderten von anderen Heil- und Giftstoffen. Diese Isolierung hat den großen Wert, daß in reinem Zustande hergestellte physiologisch wirksame Substanzen sich unverändert aufbewahren lassen, was mit den Pflanzenteilen selbst, in denen sie enthalten sind, häufig nicht der Fall ist. Ferner aber lassen sich solche rein dargestellte Körper sehr genau „dosieren", d. h. in gerade derjenigen Menge abmessen oder abwägen, in welcher sie die beabsichtigte Wirkung ausüben, während die Drogen, in denen sie enthalten sind, mehr oder minder reich an dem wirksamen Prinzip sein und daher entweder eine zu geringe oder eine zu heftige Wirkung entfalten können. Beispielsweise ist das giftige Strychnin in sehr kleinen Mengen ein außerordentlich wertvolles Heilmittel, aber auch schon in Mengen, die immer noch die Bezeichnung „sehr klein" verdienen, ein tödlich wirkendes Gift. Die Wichtigkeit einer genauen Dosierung liegt somit klar zutage.

Für eine ganze Reihe der in der Natur vorkommenden Riechstoffe und Heilmittel hat die forschende Chemie allmählich die Konstitution kennen gelernt, wenn auch viele derselben uns noch immer rätselhaft sein mögen. So kennen wir z. B. nicht die Konstitution des Chinins und der anderen Chinaalkaloide, aber wir kennen ganz genau die Konstitution des Chinolins, welches diese Alkaloide bei gewissen Zersetzungen liefern, und wir können das Chinolin auch synthetisch aufbauen. Ganz genau dasselbe gilt auch für die Riechstoffe, deren Erforschung allerdings in den

letzten Jahrzehnten derartig gefördert worden ist, daß nur noch ganz wenige als völlig rätselhaft bezeichnet werden können.

Unter solchen Umständen mußte mit Notwendigkeit das Problem auftauchen, Riechstoffe, Heilstoffe und andere wirksame Prinzipien der belebten Natur synthetisch herzustellen und solche Erzeugnisse zum Gegenstand der chemischen Industrie zu machen. Diese synthetische Arbeit schloß sich ganz selbstverständlich an die ältere aus der Tätigkeit der Apotheken hervorgegangene bloße Isolierung der wirksamen Prinzipien aus den Drogen an und ist von den Fabriken, welche sich mit dieser beschäftigten, mehr und mehr aufgenommen und zu immer größerer Vollkommenheit entwickelt worden. Heute gibt es schon derartige Fabriken, in denen die synthetische Arbeit eine große Rolle spielt und einen größeren Umfang besitzt als die bloß abscheidende. Ja, es hat sich in neuester Zeit ein weiterer Zweig herausgebildet, der sich bestrebt, Nährstoffe in konzentrierter Form zu gewinnen und als Ergänzung unserer natürlichen Nahrungsmittel in den Handel zu bringen.

Die Synthese von Riechstoffen greift eigentlich bis auf die Anfänge der Farbenindustrie zurück, wo man begann, das durch seinen starken Mandelgeruch auffallende Nitrobenzol zur Parfümierung von Seifen zu verwenden. Aber im feineren Sinne des Wortes, d. h. als Aufbau natürlich vorkommender Riechstoffe, datiert diese Errungenschaft der Technik von der denkwürdigen Entdeckung, welche Ferdinand Tiemann und Wilhelm Haarmann machten, als sie feststellten, daß das Koniferin, eine in dem Frühlingssaft der Nadelhölzer enthaltene Substanz, durch Behandlung mit Oxydationsmitteln sich in Vanillin, den Riechstoff der Vanille, verwandelt, welches seiner Konstitution nach als der Aldehyd der Monomethylprotocatechusäure erkannt wurde. Tiemann und Haarmann gründeten darauf die synthetische Fabrikation des Vanillins, der sich bald auch diejenige des nahe verwandten Heliotropins beigesellte. Dieses letztere ist Methylenprotocatechualdehyd. Beide Riechstoffe werden heute in großer Menge, aber nicht mehr nach den ursprünglichen Methoden, sondern nach anderen inzwischen aufgefundenen hergestellt.

In den etwa vierzig Jahren, welche seit jener denkwürdigen Entdeckung verflossen sind, haben sich andere Errungenschaften gleicher Art in großer Zahl verwirklicht. Von diesen können nur einige wenige erwähnt werden. Unter diesen ist vielleicht die bedeutendste der synthetische Aufbau des Jonons, d. h. des Riechstoffs der Veilchen, welcher in dieser Blüte in so äußerst geringer Menge enthalten ist, daß seine Reinherstellung aus dieser Quelle eigentlich auch heute noch kaum gelingt. Aber die Synthese des Jonons ist deshalb von so großer Wichtigkeit, weil sie in ihren Ausläufern Licht bringt in die chemische Natur einer Unzahl von anderen natürlichen Riechstoffen und damit das ganze reiche Feld der pflanzlichen Wohlgerüche zu einem organisch zusammenhängenden Ganzen vereinigt.

Während die zuerst erforschten Riechstoffe, das Vanillin und seine Verwandten, der aromatischen Reihe angehören und damit nahe Verwandte der Teerfarbstoffe sind, greifen die später erforschten Riechstoffe in ein ganz anderes Kapitel der Chemie über, sie stehen in nächster Beziehung zu den Terpenen, Körpern mit ringförmigen Kohlenstoffkernen, die aber außerhalb der aromatischen Reihe stehen. Die einfachsten dieser Terpene finden sich in dem Terpentinöl und in anderen flüchtigen Bestandteilen der Koniferen, so lassen sich denn aus dem Terpentinöl auch manche Riechstoffe synthetisch aufbauen. Es gehört hierhin als einer der ersten, bei denen dies gelang, das Terpineol, der Riechstoff der Fliederblüte, und als letzte und bedeutsamste Errungenschaft das Borneol, der in der Natur sehr seltene Borneokampfer

und der von ihm sich ableitende Formosakampfer selbst, das feste wohlriechende Öl von Laurus camphora. Schon hat auch hier der Wettbewerb zwischen dem natürlichen Erzeugnis der ostasiatischen Heimatländer des Kampferbaums und dem synthetischen Produkt des Westens begonnen.

In allerneuester Zeit ist nun auch ein anderes Naturprodukt, welches wir freilich nicht mehr zu den Riechstoffen zu rechnen pflegen, synthetisch aus den Terpenen aufgebaut worden; es ist dies der von der Industrie in so großen Mengen verbrauchte Kautschuk.

Die Synthese der künstlichen Heilmittel nimmt ihren Ausgang von der Auffindung zweckmäßiger synthetischer Methoden für die Darstellung des vorhin erwähnten Chinolins. Wenn es auch noch nicht möglich scheint, dieses in eins der Chinaalkaloide zu verwandeln, so glaubte man doch von dem Chinolin zu künstlichen Basen kommen zu können, welche ähnliche fieberstillende Wirkung zeigen würden wie das Chinin. Der Erfolg dieser Bestrebungen war unbefriedigend, aber das gesteckte Ziel ist auf anderem Wege erreicht worden. Synthetische Produkte, welche mit den natürlich vorkommenden Alkaloiden vorläufig noch wenig Beziehungen besitzen, dabei aber als höchst wertvolle Heilmittel sich erwiesen haben, sind Antipyrin, Phenazetin, Aspirin, Pyramidon und viele, viele andere, welche als Angehörige der aromatischen Reihe sich direkt an die Verwertung der Teerprodukte anschließen und daher zum Teil auch mit in die Arbeit der Farbenfabriken hineinbezogen worden sind. Heute vergeht kein Jahr, welches uns nicht eine ganze Fülle solcher neuen Errungenschaften brächte, und unsere Ärzte wären hilflos, wenn sie plötzlich auf das verzichten sollten, was die synthetische Chemie ihren Schätzen an wertvollen Heilmitteln hinzugefügt hat.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, daß an die Fabrikation der Zwischenprodukte der Farbenindustrie die Herstellung einer ganzen Reihe von organischen Präparaten sich angeschlossen hat, welche ihren Absatz längst nicht mehr bloß in den Laboratorien der forschenden Chemiker finden. Als Beispiel solcher Erzeugnisse mögen hier nur die vielen wertvollen Entwicklersubstanzen und sonstigen photographischen Präparate genannt werden, welche sich heute in jedermanns Händen befinden und wertvolle Dienste leisten. Eine ganze Reihe von anderen ähnlichen Errungenschaften schließt sich ihnen an.

Als erster Band dieses Werkes erschien:

DIE GEWINNUNG DER ROHMATERIALIEN DER TECHNIK.

Grundriß der technisch-geschichtlichen Entwicklung. Von Privatdozent Conrad Matschoß.

Vorkommen und Gewinnung von Kohle und Torf. Mit 76 Abbildungen. Von Bergassessor A. Macco.

Erzeugung von Eisen aus Eisenerzen und seine Umwandlung zu schmiedbarem Eisen, Stahl oder Gießereierzeugnissen. Mit 37 Abbildungen. Von Geh. Regierungsrat Professor Dr. W. Mathesius.

Die technisch wichtigen Metalle und die Gewinnung ihrer Erze. Mit 105 Abbildungen. Von Prof. Dr.-Ing. R. Beck und Prof. Dipl.-Ing. R. Hoffmann.

Holz, Holzschliff, Zellstoff und Faserstoffe. Mit 43 Abbildungen. Von Direktor Prof. Otto Johannsen.

Mit 8 mehrfarbigen Einschaltbildern.

In Kürze wird folgen als dritter Band:

DIE GEWINNUNG DES TECHNISCHEN KRAFTBEDARFS UND DER ELEKTRISCHEN ENERGIE.

Die Kraftmaschine. — Kolbendampfmaschinen und Gasmaschinen. — Wasserkraft und Windkraft als Quellen technischer Energie. — Das Verhältnis der verschiedenen Naturkräfte zueinander. — Die Formen der modernen Elektromotoren und Elektrogeneratoren. — Die Verteilung der elektrischen Energie. — Die elektrochemische Industrie.

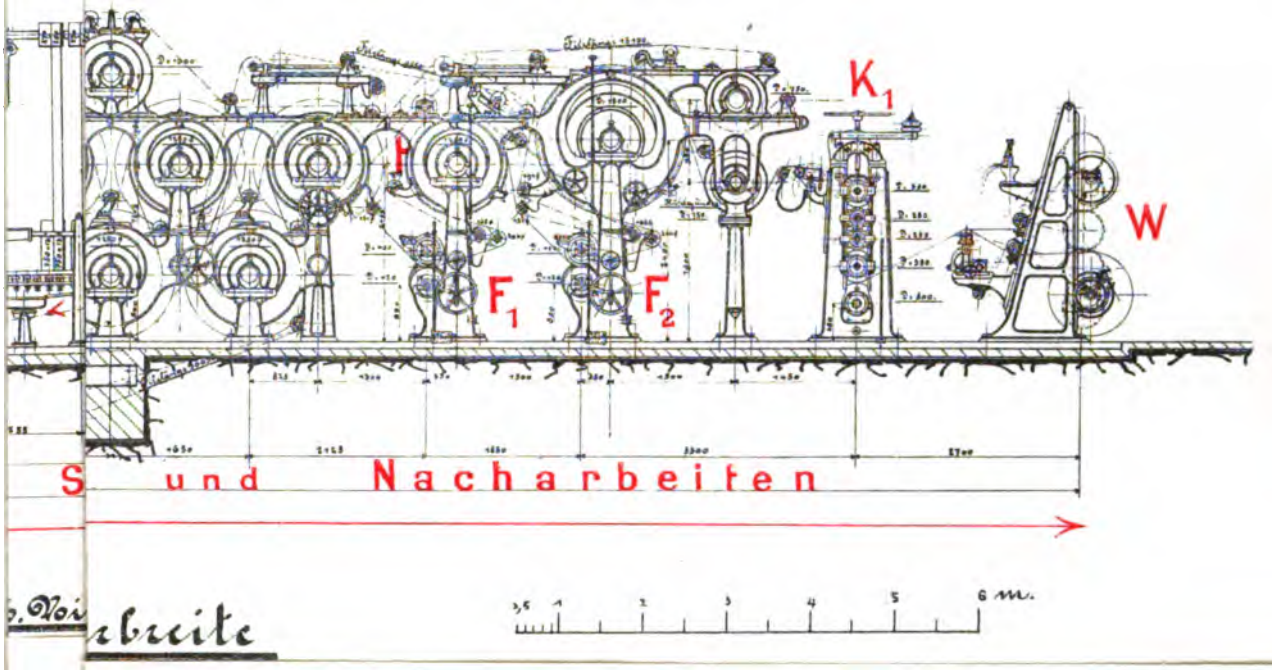
Reich illustriert.

Der das Werk abschließende vierte Band wird behandeln:

DAS VERKEHRSWESEN.

Lokomotiven. — Die Technik des Schiffbaues. — Das Automobil. — Das Motorluftschiff und die Flugmaschine. — Post und Telegraphie.

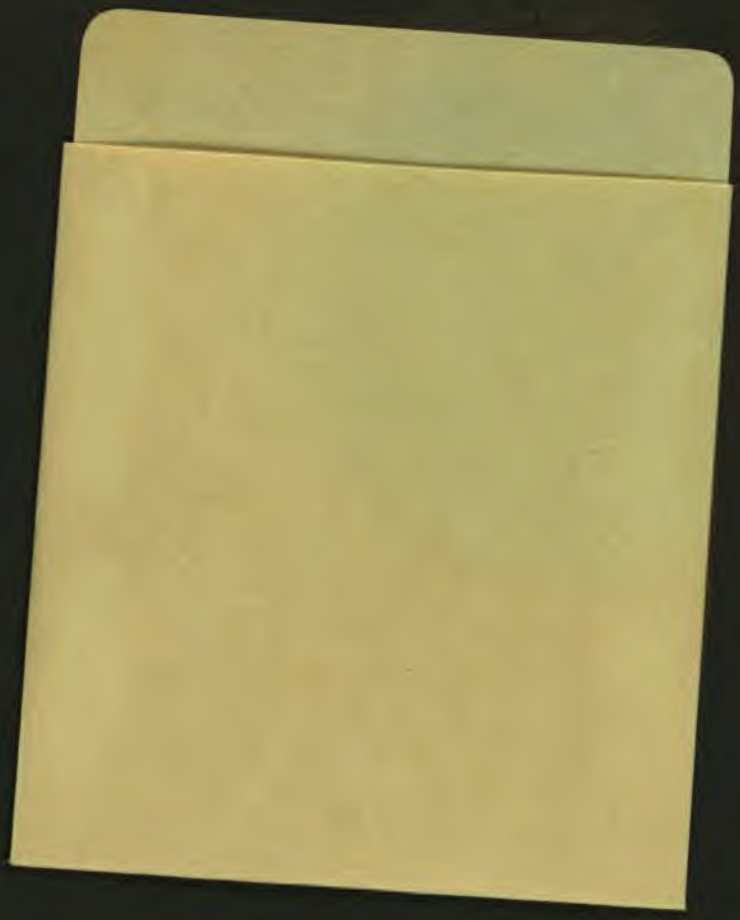
Graphische Technik. — Die Technik in der wissenschaftlichen Forschung. — Die technische und wirtschaftliche Ausgestaltung der Großfabrikation.



rbeite

8908390578b

b89083905786a



89083905786

b89083905786a

89083905786

B89083905786A